



TUGAS AKHIR - TE141599

***OPTIMAL POWER FLOW* DENGAN PENENTUAN LOKASI
KAPASITOR DAN DG UNTUK MEMPEROLEH MINIMUM RUGI
DAYA MINIMUM DEVIASI TEGANGAN DAN PENINGKATAN
KELUARAN DAYA AKTIF DG MENGGUNAKAN *GENETIC
ALGORITHM***

Adinda Soraya Ayu Wardhany
NRP 2215105075

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. OntosenoPenangsang, M.Sc., Ph.D.
Ir. Arif Musthofa, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – TE141599

***OPTIMAL POWER FLOW DENGAN PENENTUAN LOKASI
KAPASITOR DAN DG UNTUK MEMPEROLEH MINIMUM
RUGI DAYA MINIMUM DEVIASI TEGANGAN DAN
PENINGKATAN KELUARAN DAYA AKTIF DG
MENGUNAKAN GENETIC ALGORITHM***

**Adinda Soraya Ayu Wardhany
NRP 2215105075**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Ir. Arif Musthofa, M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT – TE141599

**OPTIMAL POWER FLOW WITH CAPACITOR AND DG
PLACEMENT TO OBTAIN MINIMUM POWER LOSS,
MINIMUM VOLTAGE DEVIATION, AND INCREASE DG
ACTIVE POWER USING GENETIC ALGORITHM**

**Adinda Soraya Ayu Wardhany
NRP 2215105075**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. OntosenoPenangsang, M.Sc., Ph.D.
Ir. Arif Musthofa, M.T.**

**DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul ***“Optimal Power Flow dengan Penentuan Lokasi Kapasitor dan DG untuk Memperoleh Minimum Rugi Daya, Minimum Deviasi Tegangan dan Peningkatan Keluaran Daya Aktif DG Menggunakan Genetic Algorithm”*** adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

Adinda Soraya Ayu Wardhany
2215105075

**OPTIMAL POWER FLOW DENGAN PENENTUAN LOKASI
KAPASITOR DAN DG UNTUK MEMPEROLEH MINIMUM
RUGI DAYA MINIMUM DEVIASI TEGANGAN DAN
PENINGKATAN KELUARAN DAYA AKTIF DG
MENGUNAKAN GENETIC ALGORITHM**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

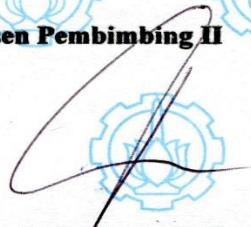
Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.

NIP. 1949 07 15 1974 12 1 001

Dosen Pembimbing II



Ir. Arif Musthofa, M.T.

NIP. 1966 08 11 1992 03 1 004



**OPTIMAL POWER FLOW DENGAN PENENTUAN LOKASI
KAPASITOR DAN DG UNTUK MEMPEROLEH MINIMUM
RUGI DAYA MINIMUM DEVIASI TEGANGAN DAN
PENINGKATAN KELUARAN DAYA AKTIF DG
MENGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM***

Nama : Adinda Soraya Ayu Wardhany

NRP : 2215105075

Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing 2 : Ir. Arif Musthofa, M.T.

ABSTRAK

Sistem distribusi merupakan salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik. Sistem distribusi berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen. Sementara, kualitas dari sistem distribusi menjadi semakin kompleks seiring berjalannya waktu dan menyebabkan kerugian daya dan deviasi tegangan yang semakin besar. Penambahan *Distributed Generation* (DG) dan kapasitor menjadi pilihan yang banyak digunakan untuk mengurangi adanya kerugian daya dan deviasi tegangan pada sistem. Tugas akhir ini menggunakan optimasi aliran daya pada sistem distribusi radial dengan penentuan lokasi dan kapastitas DG dan kapasitor secara simultan untuk memperoleh rugi daya minimal, deviasi tegangan minimal dan peningkatan keluaran DG menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) yang diujikan pada sistem IEEE 33 bus. Hasil yang diperoleh kerugian daya minimal saat pembobotan tertinggi pada rugi daya menghasilkan rugi daya seturun sebesar 93.54% dari rugi daya awal (13.0974kW). Deviasi tegangan minimal saat pembobotan tertinggi pada deviasi tegangan menghasilkan deviasi turun sebesar 99.44% dari deviasi awal (0.06611). Pengaruh adanya peningkatan daya aktif DG pada semua pembobotan mengakibatkan total keluaran DG hampir disemua case mendekati nilai constraint maksimum daya aktif DG.

Kata Kunci : Rugi daya, Deviasi tegangan, Daya aktif DG, kapasitor, *distributed generation* (DG), *genetic algorithm* (GA).

OPTIMAL POWER FLOW WITH CAPACITOR AND DG PLACEMENT TO OBTAIN MINIMUM POWER LOSS, MINIMUM VOLTAGE DEVIATION, AND INCREASE DG ACTIVE POWER USING GENETIC ALGORITHM

Name : Adinda Soraya Ayu Wardhany

NRP : 2215105075

Supervisor 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.

Supervisor 2 : Ir. Arif Musthofa, M.T.

ABSTRACT

Distribution system is one important component in power system. Distribution systems are useful for delivering electricity from large power sources to consumers. Meanwhile, the quality of the distribution system becomes increasingly complex over time and causes greater power loss and voltage deviation. The addition of Distributed Generation (DG) and capacitor is a widely used option to reduce the power loss and voltage deviation of the system. In this final project proposed optimization of power flow in the radial distribution system by determining the location and capability of DG and capacitor simultaneously to obtain minimal power loss, minimum voltage deviation and increase of DG output using Genetic Algorithm (GA) method tested on IEEE 33 bus. The result obtained by the minimum power loss when the highest weight on the power loss produces a power loss of 93.54% of the initial power loss (13.0974kW). Minimum voltage deviation when the highest weighting on the voltage deviation resulted in a deviation down by 99.44% from the initial deviation (0.06611). The effect of increasing DG active power on all weightings resulted in a total DG output in almost all cases approaching the maximum constraint value of active power DG.

Keywords: power loss, voltage deviation, active power DG, capacitor, distributed generation (DG), genetic algorithm (GA).

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul ***“Optimal Power Flow dengan Penentuan Lokasi Kapasitor dan DG untuk Memperoleh Minimum Rugi Daya, Minimum Deviasi Tegangan dan Peningkatan Keluaran Daya Aktif DG Menggunakan Genetic Algorithm”***.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Keluarga penulis di rumah yang selalu mendoakan, mendukung dan memberikan semangat kepada penulis baik dalam keadaan senang ataupun susah.
3. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, PhD dan Ir. Arif Mustofa, MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Teman-teman asisten dan trainee squad B-103 yang selalu memberikan dukungan dan semangat disaat suka maupun duka.
5. Suyanto, ST. MT, Dimas Fajar Uman Putra, ST. MT., dan Ni Ketut Aryani yang telah memberikan bimbingan, ilmu, serta nasihat selama penulis melaksanakan studi.
6. COFED tercinta, Cepong, Opuk, Fava, Echy yang selalu menjadi *moodbooster* pribadi.
7. Fantastic Four tersayang, Nila, Laila, Rere juga Ila dan Titis dan seluruh teman-teman yang tidak bisa disebutkan satu-persatu namanya.
8. Ciwi-ciwi dan teman-teman LJ 2015 yang selalu ada sebagai teman seperjuangan

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Mei 2017
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	iii
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metedologi.....	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi dan Manfaat	4
BAB II SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK, ALIRAN DAYA, DISTRIBUTED GENERATION DAN GENETIC ALGORITHM.....	5
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	5
2.1.1 Sistem Distribusi Radial	6
2.2 Metode <i>Topology Network</i>	10
2.3 Distributed Generation (DG)	14
2.3.1 Distributed Generation pada Jaringan Distribusi Radial	16
2.4 Kapasitor.....	18
2.5 Genetic Algorithm (GA)	19

BAB III OPTIMASI PENEMPATAN DG DAN KAPASITOR PADA SISTEM DISTIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN GENETIC ALGORITHM (GA).....	21
3.1 Diagram A lur Sistem.....	21
3.2 Jaringan Distribusi IEEE 33 Bus.....	21
3.3 Pemodelan OPF Menggunakan Algoritma Genetika	26
3.3.1 Penentuan Variabel Awal	27
3.3.2 Inisialisasi Populasi.....	28
3.3.3 Pengkodean Kromosom	29
3.3.4 Evaluasi Populasi	29
3.3.5 Seleksi Pindah Silang	29
3.3.6 Seleksi Mutasi.....	30
3.3.7 Populasi dari Kromosom Terbaik.....	31
3.3.8 Iterasi	31
3.4 Fungsi Multi Objektif.....	31
3.5 <i>Constraint</i>	33
BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS	35
4.1 Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus	35
4.2 Optimasi Peletakan DG dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial 33 Bus Menggunakan GA dengan Variasi Pembobotan Seimbang	40
4.3 Optimasi Peletakan DG dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial 33 Bus Menggunakan GA dengan Variasi Pembobotan Rugi Daya.....	42

4.4	Optimasi Peletakan DG dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial 33 Bus Menggunakan GA dengan Variasi Pembobotan Deviasi Tegangan.....	51
4.5	Optimasi Peletakan DG dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial 33 Bus Menggunakan GA dengan Variasi Pembobotan Keluaran DG.....	60
BAB V PENUTUP.....		69
5.1	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA.....		71
BIODATA PENULIS.....		73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem Tenaga Listrik dengan Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.....	6
Gambar 2.2	Sistem Jaringan Radial Tipe Pohon	7
Gambar 2.3	Sistem Jaringan Radial dengan <i>Tie</i> dan <i>Switch</i> Pemisah.....	8
Gambar 2.4	Sistem Jaringan Radial dengan Pusat Beban.....	9
Gambar 2.5	Sistem Jaringan Radial dengan Pembagian <i>Phase</i> Area.....	10
Gambar 2.6	Contoh Single Line Diagram	12
Gambar 2.7	Koneksi DG pada Sistem Distribusi Radial	16
Gambar 2.8	Pemasangan Kapasitor secara Paralel	18
Gambar 3.1	Diagram Alir Tugas Akhir pada Seluruh Sistem.....	21
Gambar 3.2	Single Line Diagram Jaringan Distrbusi IEEE 33 Bus.....	23
Gambar 3.3	Diagram Alir OPF menggunakan Genetic Algorithm	26
Gambar 3.4	Inisialisasi Kromosom dalam 1 Buah Populasi	28
Gambar 3.5	Pindah Silang pada GA	30
Gambar 3.5	Seleksi Mutasi pada GA	30
Gambar 4.1	Grafik Tegangan Bus <i>Case</i> Pembobotan Rugi Daya dengan 1 DG dan 1 Kapasitor	45
Gambar 4.2	Grafik Deviasi Tegangan Pembobotan Rugi Daya dengan 1 DG dan 1 Kapasitor	46
Gambar 4.3	Grafik Tegangan Bus <i>Case</i> Pembobotan Rugi Daya dengan 2 DG dan 2 Kapasitor	47
Gambar 4.4	Grafik Deviasi Tegangan Pembobotan Rugi Daya dengan 2 DG dan 2 Kapasitor	48
Gambar 4.5	Grafik Tegangan Bus <i>Case</i> Pembobotan Rugi Daya dengan 3 DG dan 3 Kapasitor	50

Gambar 4.6	Grafik Deviasi Tegangan Pembobotan Rugi Daya dengan 3 DG dan 3 Kapasitor	50
Gambar 4.7	Grafik Tegangan Bus <i>Case</i> Pembobotan Deviasi Tegangan dengan 1 DG dan 1 Kapasitor	54
Gambar 4.8	Grafik Deviasi Tegangan Pembobotan Deviasi Tegangan dengan 1 DG dan 1 Kapasitor	54
Gambar 4.9	Grafik Tegangan Bus <i>Case</i> Pembobotan Deviasi Tegangan dengan 2 DG dan 2 Kapasitor	56
Gambar 4.10	Grafik Deviasi Tegangan Pembobotan Deviasi Tegangan dengan 2 DG dan 2 Kapasitor	57
Gambar 4.11	Grafik Tegangan Bus <i>Case</i> Pembobotan Deviasi Tegangan dengan 3 DG dan 3 Kapasitor	58
Gambar 4.12	Grafik Deviasi Tegangan Pembobotan Deviasi Tegangan dengan 3 DG dan 3 Kapasitor	59
Gambar 4.13	Grafik Tegangan Bus <i>Case</i> Pembobotan Deviasi Tegangan dengan 1 DG dan 1 Kapasitor	63
Gambar 4.14	Grafik Deviasi Tegangan Pembobotan Deviasi Tegangan dengan 1 DG dan 1 Kapasitor	63
Gambar 4.15	Grafik Tegangan Bus <i>Case</i> Pembobotan Keluaran DG dengan 2 DG dan 2 Kapasitor	65
Gambar 4.16	Grafik Deviasi Tegangan Pembobotan Keluaran DG dengan 2 DG dan 2 Kapasitor	65
Gambar 4.17	Grafik Tegangan Bus <i>Case</i> Pembobotan Keluaran DG dengan 3 DG dan 3 Kapasitor	67
Gambar 4.18	Grafik Deviasi Tegangan Pembobotan Keluaran DG dengan 3 DG dan 3 Kapasitor	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi DG berdasarkan Kapasitas	14
Tabel 2.2	Klasifikasi DG Berdasarkan Teknologi Pembangkitan	15
Tabel 2.3	Klasifikasi DG Berdasarkan Transfer Daya	15
Tabel 3.1	Data Saluran Sistem IEEE 33 Bus	24
Tabel 3.2	Data Pembebanan Sistem IEEE 33 Bus	25
Tabel 4.1	Tegangan Bus pada Sistem IEEE 33 Bus	35
Tabel 4.2	Kerugian Jaringan antar Bus pada Sistem IEEE 33 Bus	37
Tabel 4.3	Deviasi Tegangan Setiap Bus pada Sistem IEEE 33 Bus	38
Tabel 4.4	Hasil Optimasi Rugi Daya, Deviasi Tegangan dan Keluaran DG dengan Pembobotan Seimbang	41
Tabel 4.5	Hasil Optimasi Rugi Daya, Deviasi Tegangan dan Keluaran DG dengan Variasi Pembobotan Rugi Daya.....	43
Tabel 4.6	Hasil Optimasi Rugi Daya, Deviasi Tegangan dan Keluaran DG dengan Variasi Pembobotan Deviasi Tegangan	52
Tabel 4.7	Hasil Optimasi Rugi Daya, Deviasi Tegangan dan Keluaran DG dengan Variasi Pembobotan Keluaran DG.....	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem distribusi merupakan salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik. Sistem distribusi berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen. Sistem distribusi radial merupakan sistem distribusi yang paling banyak digunakan karena biaya yang relatif murah dibandingkan dengan sistem distribusi lainnya. Namun, diantara beberapa jenis sistem distribusi, sistem distribusi radial memiliki kualitas pelayanan daya yang relatif buruk disebabkan oleh deviasi tegangan dan rugi daya yang relatif besar.

Optimal power flow merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengoptimalkan aliran daya pada sistem distribusi. Salah satu cara yang digunakan untuk meminimalkan rugi-rugi daya dan perubahan tegangan tersebut adalah dengan cara menambahkan kapasitor dan Distributed Generation (DG). Setelah kapasitor dan DG terhubung dengan jaringan distribusi, masih terdapat rugi saluran, deviasi tegangan, kurangnya optimasi keluaran daya aktif pada DG. Maka dari hal tersebut perlu dilakukan optimasi.

Dalam tugas akhir ini, diusulkan sebuah optimasi aliran daya yang digunakan untuk meminimalkan rugi saluran, meminimalkan perubahan tegangan, dan memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada sistem distribusi. Pendekatan yang dilakukan dengan mengoptimasi aliran daya pada sistem tersebut menggunakan metode Genetic Algorithm (GA). Metode ini mempresentasikan analisis untuk mengoptimalkan untuk penempatan serta ukuran kapasitor dan DG sekaligus optimasi aliran daya dari sistem distribusi.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Minimisasi rugi saluran, deviasi tegangan, peningkatan daya keluaran aktif DG pada sistem distribusi dengan penempatan kapasitor dan DG

2. Penentuan lokasi kapasitor dan DG (*Distributed Generation*) yang optimal pada jaringan distribusi radial tiga fasa (seimbang)
3. Keluaran daya DG (*Distributed Generation*) yang optimal dari banyaknya kemungkinan peletakan yang terbaik

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini :

1. Menerapkan metode *Genetic Algorithm* (GA) dalam peletakan kapasitor dan DG pada sistem distribusi radial dengan optimal.
2. Meminimalkan rugi saluran, meminimalkan deviasi tegangan, dan memaksimalkan keluaran daya aktif DG yang timbul pada sistem distribusi radial aktif tiga fasa.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Simulasi menggunakan sistem distribusi radial IEEE 33 Bus .
2. OPF dilakukan dengan metode *Genetic Algorithm* (GA)
3. Simulasi menggunakan *software* Matlab.
4. Fungsi Objektif dari optimasi yang dilakukan adalah meminimalkan rugi daya, meminimalkan deviasi tegangan dan memaksimalkan keluaran DG.
5. DG bekerja sebagai PF *control*.
6. Sistem beroperasi dalam keadaan normal, tidak dalam gangguan.
7. KHA saluran dianggap ideal.
8. Tidak membahas tentang aliran daya secara detail.

1.5 Metedologi

Metodologi penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur
Mengumpulkan berbagai buku dan referensi lainnya mengenai berbagai hal yang mendukung. Mempelajari materi yang berkaitan dengan aliran daya pada sistem distribusi radial,

kapasitor dan DG. Selanjutnya mempelajari teori *genetic algorithm* (GA), cara pemrograman pada *software* MATLAB dan memasukkan data pada *software* ETAP.

2. Pengambilan Data

Penulis melakukan pengambilan data pada *plant* (sistem distribusi IEEE 33 Bus) seperti *line* data, bus data, tegangan dan parameter lain yang akan disimulasikan pada *software* MATLAB.

3. Simulasi dan Analisa Data

Simulasi ini dilakukan dengan memodelkan aliran daya optimal menggunakan *Distributed Generation* (DG) dan kapasitor menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA). Seluruh data bus yang telah didapat dimasukkan ke dalam program yang telah dibuat dan dimodelkan sedemikian rupa sehingga didapatkan penempatan lokasi kapasitor dan DG yang optimal dengan mempertimbangkan fungsi objektif yang digunakan, yakni: Meminimalkan rugi daya, meminimalkan deviasi tegangan, dan memaksimalkan keluaran DG.

4. Penulisan buku

Hasil penelitian yang telah dilakukan dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir dan paper. Laporan berisi metode dan kesimpulan dari penelitian dan penyusunan buku disesuaikan dengan aturan yang berlaku.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah :

1. BAB 1

Pendahuluan berisi tentang latar belakang, permasalahan, tujuan tugas akhir, batasan masalah, metodologi tugas akhir, sistematika penulisan dan relevansi atau manfaat dari tugas akhir.

2. BAB 2

Teori penunjang terdiri dari sistem distribusi, parameter optimasi berisi tentang penjelasan teori yang digunakan. seperti sistem distribusi radial, multi objektif, kapasitor, *distributed generation* (DG), dan *Genetic Algorithm* (GA)

3. BAB 3
Perancangan dan pemodelan optimasi berisi tentang proses dalam melakukan optimasi peletakan kapasitor dan DG untuk meminimalkan rugi daya, deviasi tegangan dan memaksimalkan keluaran DG menggunakan metode *genetic algorithm* (GA) yang diujikan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.
4. BAB 4
Simulasi dan analisa berisi tentang simulasi yang dilakukan dan analisa hasil simulasi.
5. BAB 5
Kesimpulan berisi tentang hasil penelitian, pembahasan dan saran-saran.

1.7 Relevansi dan Manfaat

Relevansi atau manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui bagaimana cara untuk melakukan kombinasi penempatan kapasitor dan DG untuk meminimalkan rugi daya, deviasi tegangan dan memaksimalkan keluaran DG.
2. Mendapatkan referensi awal untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK, ALIRAN DAYA, DISTRIBUTED GENERATION DAN GENETIC ALGORITHM

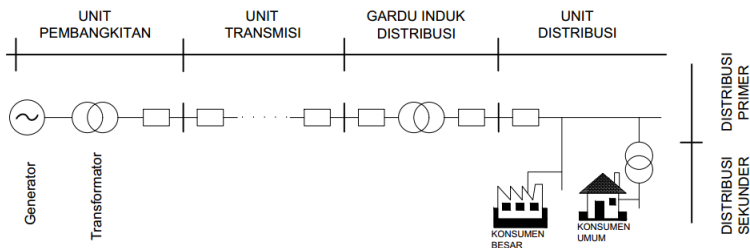
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi beberapa bagian, yakni: sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Setiap sistem memiliki peranannya masing-masing. Sistem pembangkitan membangkitkan daya listrik kemudian salurkan melalui sistem transmisi dengan menaikkan tegangannya untuk mengurangi rugi-rugi daya akibat arus yang besar. Sistem distribusi merupakan sistem terakhir yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik yang telah disalurkan oleh transmisi menuju konsumen. Konsumen ini terbagi menjadi dua yakni konsumen dengan daya yang besar dan daya yang kecil. Konsumen dengan daya yang besar akan mendapatkan distribusi daya secara langsung, sedangkan konsumen dengan daya atau tegangan yang rendah akan mendapatkan distribusi daya dari gardu-gardu induk distribusi.

Sistem distribusi tenaga listrik menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya tenaga listrik besar (*bulk power system*) sampai ke konsumen. Jadi, sistem distribusi tenaga listrik selain berfungsi untuk menyalurkan, juga melakukan pembagian tenaga listrik kepada konsumen. Sistem distribusi juga merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung kepada konsumen, karena catu daya pada pusat-pusat beban (konsumen) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. [1]

Sistem distribusi dibagi menjadi dua macam menurut posisinya, yaitu: sistem distribusi primer dan sistem distribusi skunder seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Sistem distribusi primer menyalurkan tenaga listrik pada jaringan tegangan menengah yang kemudian disalurkan sebagian pada konsumen dengan permintaan daya yang besar seperti contohnya industri, mall, rumah sakit, dll. Pada jaringan primer ini ada beberapa jenis jaringan yang digunakan, yaitu: radial, loop, ring, mesh, dan spindle. Sistem distribusi skunder mengambil tegangan melalui saluran distribusi primer yang kemudiand hubungkan pada gardu-gardu distribusi untuk diturunkan tegangannya

dengan menggunakan trafo distribusi menjadi sistem jaringan tegangan rendah 220/380 volt. Tegangan rendah ini kemudian disalurkan kepada konsumen-konsumen rumah tangga dengan daya yang kecil. Dalam sistem distribusi skunder, jenis jaringan yang banyak digunakan adalah jaringan radial. Sistem ini menggunakan konduktor yang berisolasi atau konduktor tanpa isolasi. Dari disini, dapat kita lihat bahwa jaringan distribusi juga memiliki peranan yang sangat penting dalam sistem kelistrikan.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik dengan Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Dalam tugas akhir ini, *plant* yang digunakan merupakan sistem distribusi radial. Sistem distribusi ini merupakan sistem yang paling banyak digunakan di Indonesia.

2.1.1 Sistem Distribusi Radial

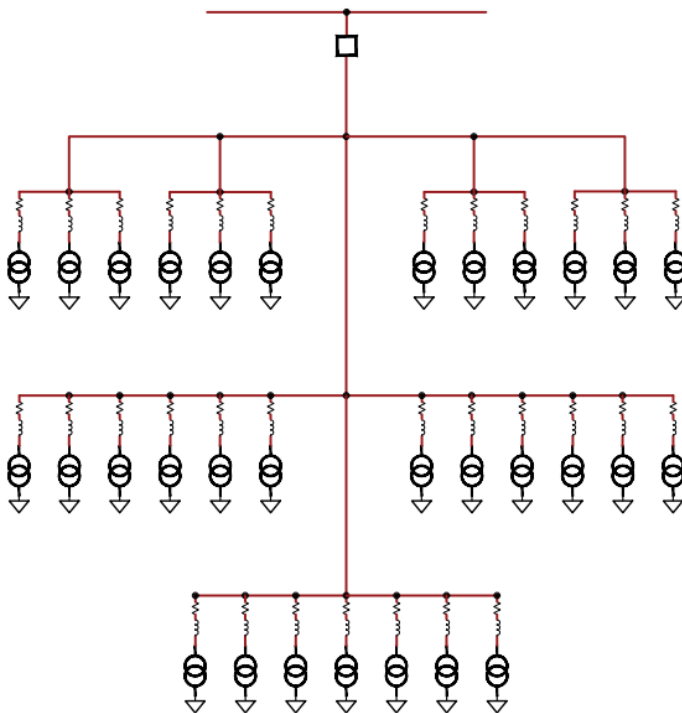
Jaringan distribusi umumnya berbentuk radial. Sistem ini memiliki pola jaringan yang hanya memiliki satu jalur dari sumber ke beban. Penghantar yang terletak di pangkal jaringan sistem ini pada umumnya memiliki diameter dan kuat hantar arus (KHA) yang lebih besar karena beban arus yang dipikulnya lebih besar daripada penghantar yang lebih dekat ke ujung jaringan.

Sistem distribusi radial memiliki beberapa model:

1. Radial tipe pohon

Bentuk radial tipe pohon merupakan bentuk jaringan radial yang paling dasar. Seperti bentuk pohon yang memiliki batang atau kita sebut saluran utama pada sistem ini, kemudian terdapat cabang-cabang. Saluran cabang ini bisa kita sebut

sebagai lateral penyulang yang selanjutnya memiliki sub-sub bagian pada cabangnya yang dapat kita sebut sublateral penyulang (anak cabang). Sesuai dengan kerapatan arus yang ditanggung masing-masing saluran, ukuran penyulang utama adalah yang terbesar, ukuran lateral adalah lebih kecil dari penyulang utama, dan ukuran sub lateral adalah yang terkecil. Dari bentuk yang menyerupai pohon inilah sistem radial ini disebut radial tipe pohon. Contoh bentuk sistem distribusi radial tipe pohon dapat kita lihat pada Gambar 2.2.

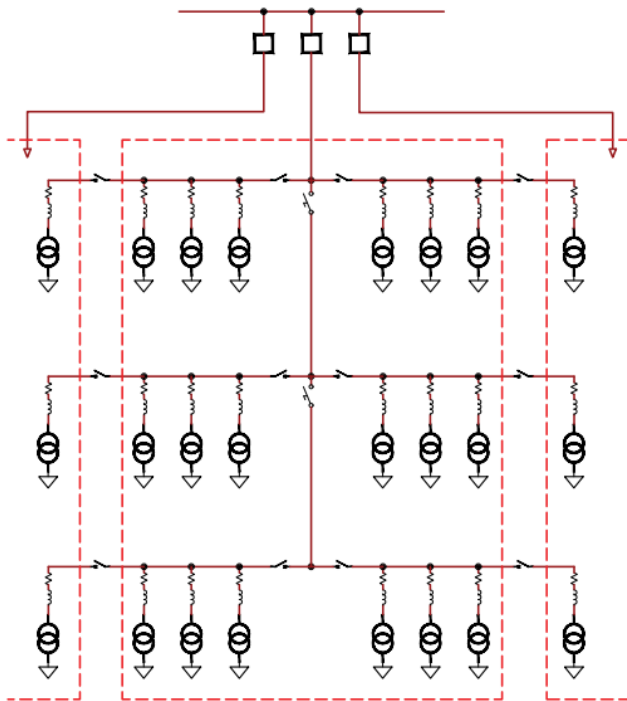


Gambar 2.2 Sistem Jaringan Radial Tipe Pohon

2. Radial dengan *tie* dan *switch* pemisah

Radial dengan *tie* dan *switch* pemisah merupakan modifikasi bentuk dasar dari tipe radial, yang membedakan adalah pada tipe ini

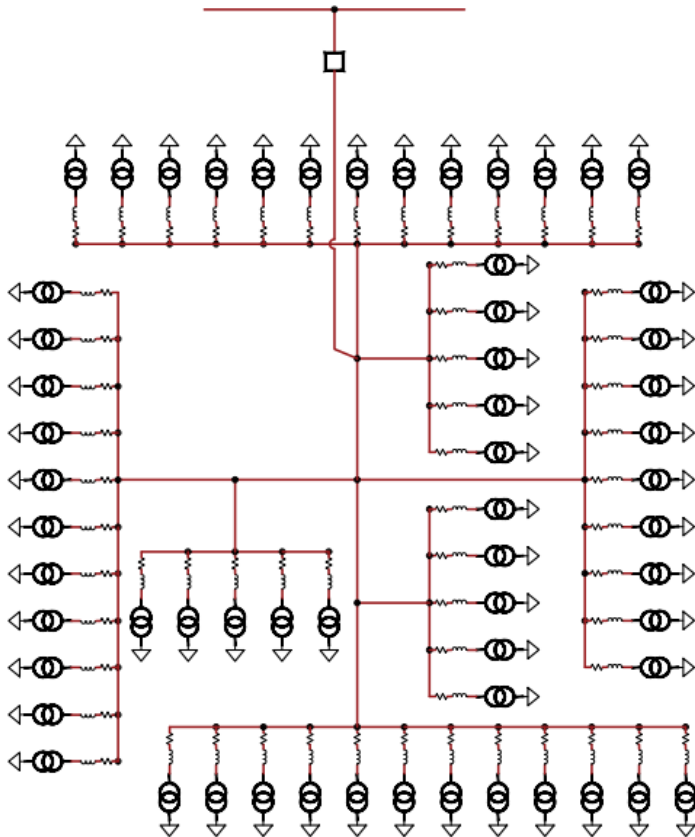
terdapat *tie* dan *switch* pemisah yang diperlukan untuk mempercepat pemulihan pelayanan bagi konsumen, dengan cara menghubungkan area-area yang tidak terganggu pada penyulang yang bersangkutan, dengan penyulang di sekitarnya. Dengan demikian bagian penyulang yang terganggu dapat dengan lebih mudah dilokalisir, dan bagian penyulang lainnya yang "sehat" segera dapat dioperasikan kembali, dengan cara melepas *switch* yang terhubung ke titik gangguan, dan menghubungkan bagian penyulang yang sehat ke penyulang di sekitarnya. Contoh bentuk sistem distribusi radial dengan *tie* dan *switch* pemisah dapat kita lihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sistem Jaringan Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

3. Radial dengan pusat beban

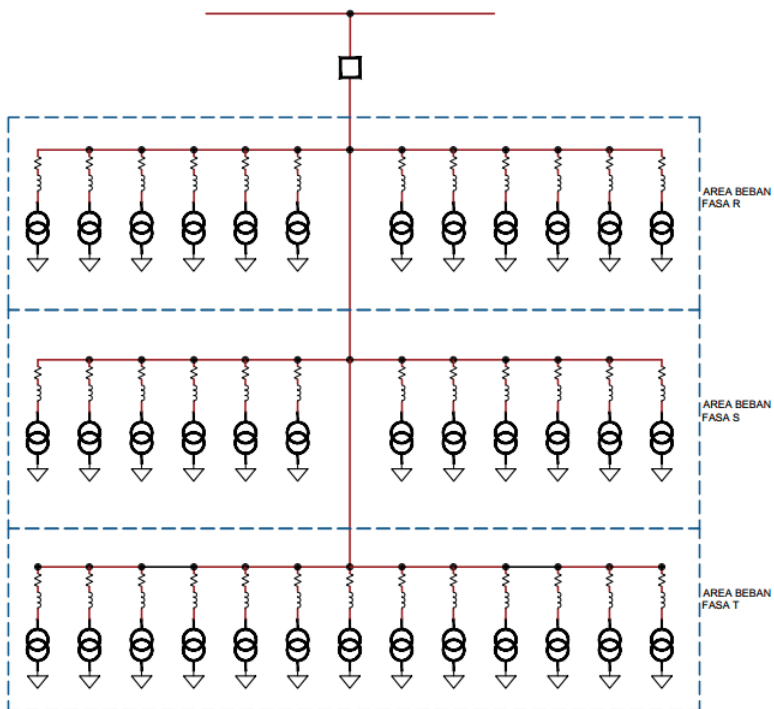
Radial dengan pusat beban mencatu daya dengan menggunakan penyulang utama (main feeder) yang disebut "express feeder" langsung ke titik pusat beban, dan dari titik pusat beban ini disebar dengan menggunakan "back feeder" secara radial. Contoh bentuk sistem distribusi radial dengan *tie* pusat beban dapat kita lihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sistem Jaringan Radial dengan Pusat Beban

4. Radial dengan pembagian *phase area*

Radial dengan pembagian *phase area* membagi area pelayanan beban berdasarkan fasanya. Bentuk jaringan tipe ini dapat menimbulkan akibat kondisi sistem 3 fasa yang tidak seimbang (simetris), bila digunakan pada daerah beban yang baru dan belum mantap pembagiannya. Karenanya hanya cocok untuk daerah beban yang stabil dan penambahan maupun pembagian bebannya dapat diatur merata dan simetris pada setiap fasanya. Contoh bentuk sistem distribusi radial dengan pembagian *phase area* dapat kita lihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sistem Jaringan Radial dengan Pembagian *Phase Area*

2.2 Metode *Topology Network*

Analisa aliran daya merupakan studi sistem tenaga listrik yang telah umum digunakan pada suatu sistem tenaga listrik baik saat perencanaan maupun operasi. Tujuan dari studi aliran daya untuk mendapatkan nilai tegangan dan sudut fasa dari masing-masing bus, sehingga dapat diketahui besarnya nilai arus dan daya yang mengalir pada sistem serta kerugian daya saluran. Beberapa metode telah dikembangkan untuk mempermudah dalam menganalisa dan pemantauan suatu sistem distribusi atau transmisi. Contoh metode yang telah umum digunakan adalah :

- Metode Gauss Seidel
- Metode Newton Raphson
- Metode Fast Decoupled

Untuk menganalisa aliran daya dengan menggunakan metode *Topology Network* [2, 3] jaringan distribusi radial direpresentasikan seperti pohon dengan bus pertama adalah sebagai akar atau slack bus. Dan bus yang lain sebagai cabangnya atau bus beban. Dengan menggunakan metode *Topology Network* analisa aliran daya untuk sistem distribusi terselesaikan tanpa banyak perhitungan dan efisien pada setiap iterasi.

Metode *Topology Network* ini menggunakan prinsip hukum Kirchoff untuk perhitungan arus. Langkah kerja *Topology Network* yang pertama adalah dengan menghitung besar arus yang mengalir pada saluran dari bus paling awal hingga akhir. Yang kedua adalah untuk menghitung nilai arus cabang didapatkan dari hubungan daya kompleks dan tegangan pada setiap bus, seperti persamaan dibawah ini :

$$I_k = \text{conj} \left(\frac{P_k + jQ_k}{V_k} \right)$$

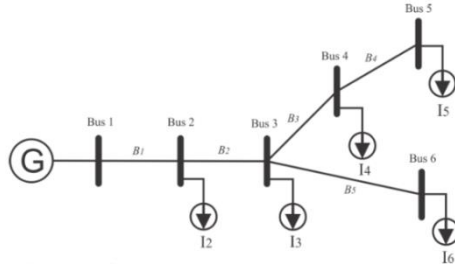
Dimana :

I_k = arus pada bus i saat iterasi ke-k

V_k = tegangan pada bus i saat iterasi ke-k

Sebelum mengimplementasikan metode *Topology Network* diperlukan memodifikasi perhitungan untuk memudahkan dalam membentuk persamaan dan proses iterasi. Salah satunya adalah dengan membentuk matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*). Matrik

BIBC (*Bus Injection to Branch Current*) adalah matrik hubungan antara arus dan saluran pada sistem distribusi. Contoh gambar *single line diagram* pada Gambar 2.6 untuk pembentukan matrik untuk persamaan aliran daya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.6 Contoh Single Line Diagram

Dari gambar *single line diagram* diatas didapatkan persamaan untuk membentuk matriks BIBC, dengan menggunakan hukum *Kirchoff* untuk arus (*Kirchoff Current Law*). Dari arus yang mengalir pada masing-masing cabang (I_k) dan saluran (B_k) didapatkan persamaan seperti berikut:

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

$$B_3 = I_4 + I_5$$

$$B_4 = I_5$$

$$B_5 = I_6$$

Setelah didapatkan persamaan diatas kemudian dibentuk matriks BIBC adalah sebagai berikut :

Matrik BIBC :

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix}$$

Angka 1 menyatakan arus yang mengalir pada saluran tersebut. Angka 0 menyatakan tidak ada hubungan antara arus dengan bus atau tidak mengalirnya arus tertentu terhadap bus tertentu.

Matrik BIBC diatas dapat disederhanakan menjadi persamaan matriks berikut:

$$[B]=[BIBC][I] \quad (2.2)$$

Setelah itu persamaan untuk drop tegangan pada setiap bus adalah sebagai berikut :

$$V_2=V_1-B_1.Z_{12}$$

$$V_3=V_1-B_1.Z_{12}-B_2.Z_{23}$$

$$V_4=V_1-B_1.Z_{12}-B_2.Z_{23}-B_3.Z_{34}$$

$$V_5=V_1-B_1.Z_{12}-B_2.Z_{23}-B_3.Z_{34}-B_4.Z_{45}$$

$$V_6=V_1-B_1.Z_{12}-B_2.Z_{23}-B_5.Z_{36}$$

Dari persamaan diatas dapat dibentuk matrik BCBV yang menyatakan bahwa ada hubungan antara tegangan bus dan arus saluran. Bentuk matrik BCBV sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix}$$

Dari matrik BCBV di atas dapat disederhanakan menjadi :

$$[\Delta V]=[BCBV][B] \quad (2.3)$$

Kemudian didapatkan persamaan untuk matrik ΔV , persamaan yang didapat adalah sebagai berikut :

$$[\Delta V]=[BCBV][BIBC][I] \quad (2.4)$$

$$[\Delta V]=[DLF][I] \quad (2.5)$$

Dengan didapatkan matrik BIBC, BCBV dan ΔV kita dapat menghitung nilai tegangan pada setiap bus. Persamaan untuk menghitung nilai tegangan pada setiap bus adalah sebagai berikut:

$$[V_i] = [V_1] - [\Delta V] \quad (2.6)$$

2.3 Distributed Generation (DG)

Distributed Generation atau pembangkit tersebar merupakan salah satu solusi dalam hal pemerataan distribusi energi listrik sehingga dapat meningkatkan kualitas jaringan tenaga listrik. Peletakan DG yang dekat dengan konsumen sangat menguntungkan terutama untuk daerah Indonesia yang memiliki kondisi geografis yang tidak rata, terdiri dari banyak pulau, sungai, pegunungan. Sehingga daerah-daerah yang terisolasi dari sistem kelistrikan karena jauh dan terpencilnya daerah tersebut dapat mendapatkan akses listrik. Kapasitas pembangkitan DG cenderung kecil bila dibandingkan dengan pembangkitan listrik terpusat. DG biasanya memiliki kapasitas dari 5 kW hingga 10 MW. DG menghasilkan energi listrik dari beberapa sumber energi yang berkapasitas kecil dan dihubungkan langsung pada jaring distribusi. Klasifikasi jenis DG dan kapasitas ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan klasifikasi DG berdasarkan teknologi pembangkitan dan kapasitas ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Klasifikasi Berdasarkan Kapasitas [4]

Jenis DG	Kapasitas Pembangkitan
Micro DG (DG Mikro)	1 Watt – 5Kw
Small DG (DG Kecil)	5kW – 5MW
Medium DG (DG sedang)	5MW – 50 MW
Large DG (DG Besar)	50MW – 300 MW

Tabel 2.2 Klasifikasi DG Berdasarkan Teknologi Pembangkitan [4]

Teknologi DG	Kapasitas per Modul
<i>Fossil Fuel</i>	
<i>Combined cycle gas turbine (CCGT)</i>	35 – 400 MW
<i>Internal combustion engines</i>	5 kW – 10 MW
<i>Combustion turbine</i>	1 – 250 MW
<i>Micro-Turbines</i>	35 kW - 1 MW
<i>Small hydro</i>	1 – 100 MW

Teknologi DG	Kapasitas per Modul
<i>Renewable Energy</i>	
<i>Micro hydro</i>	25 kW – 1 MW
<i>Wind turbine</i>	200 Watt – 3 MW
<i>Photovoltaic arrays</i>	20 Watt – 1000 kW
<i>Solar terminal, central receiver</i>	1 – 10 MW
<i>Solar terminal, Lutz system</i>	10 – 80 MW
<i>Biomass, e.g based on gastification</i>	100 kW – 20 MW
<i>100 kW-20 MW</i>	200 kW – 2 MW
<i>Fuel cells, solid oxide</i>	250 kW – 2 MW
<i>Geothermal</i>	5 – 100 MW
<i>Ocean energy</i>	100 kW – 1 MW
<i>Stirling engine</i>	2 – 10 kW
<i>Battery storage</i>	500 kW - 5 MW

IEEE mendefinisikan *Distributed Generation* sebagai pembangkit yang menghasilkan energi dalam kapasitas yang lebih kecil bila dibandingkan dengan pusat-pusat pembangkit konvensional dan dapat dipasangkan hampir pada setiap titik sistem tenaga listrik.

Tabel 2.3 Klasifikasi Tipe DG Berdasarkan Transfer Daya [5]

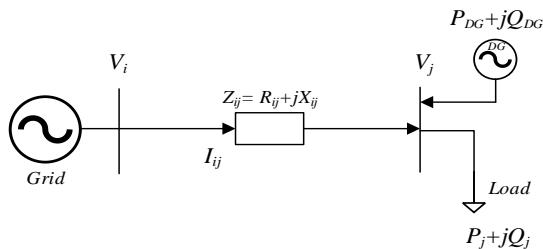
Tipe DG	Deskripsi	Contoh
Tipe 1	DG mampu menyuplai daya aktif dan reaktif	Generator sinkron
Tipe 2	DG mampu menyuplai daya aktif tapi menyerap daya reaktif	Generator induksi seperti generator angin
Tipe 3	DG mampu menyuplai daya aktif saja	PV, mikro turbin, dan Fuel cells terintegrasi dengan grid menggunakan converter/inverter
Tipe 4	DG mampu menyuplai daya reaktif saja	Kompensator sinkron

Dari data pada Tabel 2.3 diatas ditunjukkan bahwa DG memiliki beberapa tipe berdasarkan transfer dayanya. Tidak semua tipe DG mampu menghasilkan daya aktif dan reaktif. Beberapa tipe DG hanya mampu menyuplai daya aktif saja atau daya reaktif saja.

DG merupakan teknologi yang saat ini sedang dikembangkan di Indonesia karena banyak daerah diluar pulau Jawa yang tidak memiliki akses listrik akibat kondisi geografis. Pemasangan pembangkit listrik yang hanya mengandalkan pembangkit pusat dapat menghasilkan kerugian daya yang sangat besar disalurannya. Sehingga DG menjadi salah satu alternative yang tepat. DG memiliki manfaat yang signifikan dalam penyaluran energi listrik.

2.4.1 Distributed Generation pada Jaringan Distribusi Radial

Sebuah model sederhana dari jaringan distribusi radial terdiri dari grid, jalur transmisi, transformator dan beban. DG yang terhubung ke jaringan distribusi dapat ditampilkan seperti Gambar 2.7. Jika DG dipasang di lokasi yang optimal dan dikoordinasikan dengan benar, hal ini akan meningkatkan profil tegangan dan tentunya dapat mengurangi kerugian daya pada sistem distribusi. Menurut teori *Rule of Thumb*, pembangkitan optimal DG adalah 2/3 dari total beban sistem [6] [7].



Gambar 2.7 Koneksi DG pada Sistem Distribusi Radial

Nilai arus dari percabangan yang terhubung antara bus p dan q sebelum penambahan DG adalah

$$I_{ij} = \sqrt{\frac{P_j^{L^2} + Q_j^{L^2}}{V_j^2}} \quad (2.7)$$

Sehingga Nilai kerugian daya pada cabang ij sebelum penambahan DG adalah

$$P_{losses} = I_{ij}^2 \cdot R_{ij} \quad (2.8)$$

Nilai arus dari percabangan yang terhubung antara bus i dan j setelah penambahan DG adalah

$$I'_{ij} = \sqrt{\frac{(P_j^L - P_j^{DG})^2 + (Q_j^L - Q_j^{DG})^2}{V_j^2}} \quad (2.9)$$

Besar nilai kapasitas DG yang dipasang memiliki konstrain

$$\sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{DG_i} \leq \sum_{j=i}^{N_l} P_D(j) \quad (2.10)$$

$$\sum_{i=1}^{N_{DG}} Q_{DG_i} \leq \sum_{j=i}^{N_l} Q_D(j) \quad (2.11)$$

Sehingga Nilai kerugian daya pada cabang ij setelah penambahan DG adalah

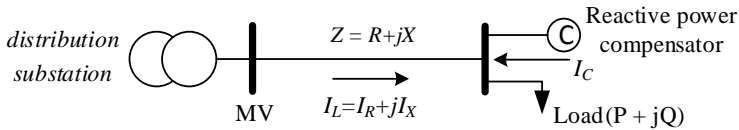
$$P'_{losses} = I'_{ij}{}^2 \cdot R_{ij} \quad (2.12)$$

Aliran daya dalam jaringan tergantung pada ukuran dan lokasi dari DG dan juga pada permintaan beban pada waktu tertentu. DG yang dipasang dalam suatu bus menjadikan bus tersebut sebagai bus tipe PV atau PQ, PVQ node [8]. Dalam tugas akhir ini, bus yang dipasang DG ditentukan sebagai bus tipe PQ node. Selain itu, dalam aplikasinya, DG terdiri dari berbagai macam jenis yang memiliki karakteristik yang berbeda. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.3 sebelumnya DG yang dapat menyuplai daya aktif dan reaktif adalah DG yang menggunakan generator sinkron.

2.4 Kapasitor

Salah satu cara untuk mengatur tegangan dan meningkatkan kualitas tegangan bus yaitu kapasitor yang dipasang paralel pada bus-bus distribusi sepanjang saluran atau pada gardu induk dan beban. Pada dasarnya kapasitor merupakan peralatan untuk menghasilkan daya reaktif pada titik mana kapasitor tersebut dipasang. Kapasitor dapat dihubungkan permanen, tetapi untuk pengaturan tegangan kapasitor dapat dilepas dari sistem sesuai perubahan beban. Selain itu kapasitor juga dapat diatur keluarannya, namun pengaturannya berbentuk diskrit [9].

Apabila kapasitor dipasang paralel dengan beban yang memiliki faktor daya yang tertinggal, kapasitor adalah sumber dari sebagian atau semua daya reaktif yang dibutuhkan beban. Dengan demikian, kapasitor mengurangi arus saluran yang mengalir menuju beban dan mengurangi tegangan jatuh pada saluran yang dapat diamati pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Pemasangan Kapasitor secara Paralel

Drop tegangan sebelum dipasang kapasitor :

$$\Delta Vd = I_L \cdot Z \quad (2.13)$$

$$\Delta Vd = I_R \cdot R + jI_X \cdot X_L \quad (2.14)$$

Drop tegangan setelah dipasang kapasitor secara paralel :

$$\Delta Vd = I_R \cdot R + jI_X \cdot X_L - jI_C \cdot X_L \quad (2.15)$$

Dimana I_L adalah arus saluran, Z adalah impedansi, I_C adalah arus dari kapasitor dan ΔVd adalah jatuh tegangan.

Secara umum fungsi kapasitor pada sistem tenaga adalah :

1. Meningkatkan kemampuan penyaluran daya pada jaringan transmisi dan distribusi
2. Meningkatkan kualitas tegangan pada sistem distribusi.
3. Mengurangi rugi-rugi pada sistem distribusi.
4. Meningkatkan kemampuan pembangkitan generator.

2.5 Genetic Algorithm (GA)

Algoritma genetika pertama kali dikembangkan oleh John Holland dari Universitas Michigan (1975). John Holland mengatakan bahwa setiap masalah yang berbentuk adaptasi (alami maupun buatan) dapat di formulasikan dalam terminologi genetika. Penggunaan algoritma genetika banyak mengambil istilah dari disiplin ilmu biologi dan komputer, karena ide awal dari algoritma tersebut merupakan teori evolusi dan seleksi yang terjadi di alam [10].

Secara sederhana, algoritma umum dari algoritma genetika ini dapat dirumuskan menjadi beberapa langkah, yaitu:

1. Membentuk suatu populasi individual dengan keadaan acak
2. Mengevaluasi kecocokan setiap individual keadaan dengan hasil yang diinginkan
3. Memilih individual dengan kecocokan yang tertinggi
4. Bereproduksi, mengadakan persilangan antar individual terpilih diselingi mutasi
5. Mengulangi langkah 2 - 4 sampai ditemukan individual dengan hasil yang diinginkan

Istilah populasi dalam algoritma ini merupakan suatu solusi yang nantinya akan dicari. Dalam solusi terdapat beberapa kromosom. Kromosom adalah suatu solusi yang nantinya masih berbentuk simbol. Populasi awal dibangun secara acak, sedangkan populasi berikutnya merupakan hasil evolusi dari kromosom-kromosom melalui iterasi yang disebut generasi. Setelah itu kromosom akan dievaluasi menggunakan alat ukur yang biasanya disebut dengan *fitness*. Nilai *fitness* dapat menunjukkan kualitas dari kromosom tersebut. Proses generasi selanjutnya disebut dengan *crossover* atau penyilangan. Pada proses ini terdapat istilah induk dan anak. Dua buah kromosom yang bertindak sebagai *parent* disilangkan sehingga menghasilkan kromosom baru (anak). Penyilangan ini pun beragam tergantung keinginan. Ada

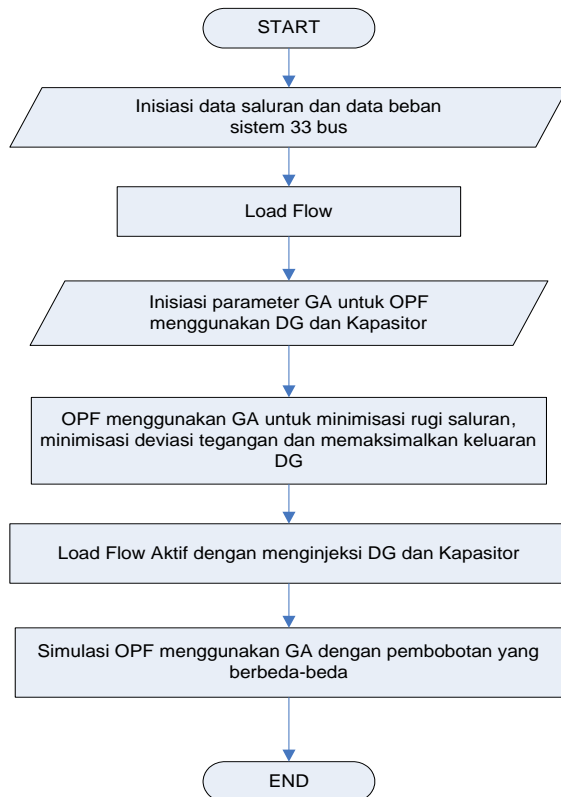
penyilangan pada satu titik juga terdapat penyilangan dari banyak titik. Modifikasi kromosom juga dapat dilakukan dengan menggunakan cara mutasi. Mutasi ini dilakukan dengan mengubah biner dari suatu kromosom secara langsung atau serentak sehingga terbentuk kromosom yang memiliki perbedaan besar dari kromosom sebelumnya.

BAB III

OPTIMASI PENEMPATAN DG DAN KAPASITOR PADA SISTEM DISTIBUSI RADIAL MENGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM* (GA)

3.1 Diagram Alur Sistem

Diagram alur digunakan untuk mengetahui pemodelan atau kerangka berpikir dalam sistem. Pemodelan sistem keseluruhan dapat dilihat pada flowchart Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir pada Seluruh Sistem

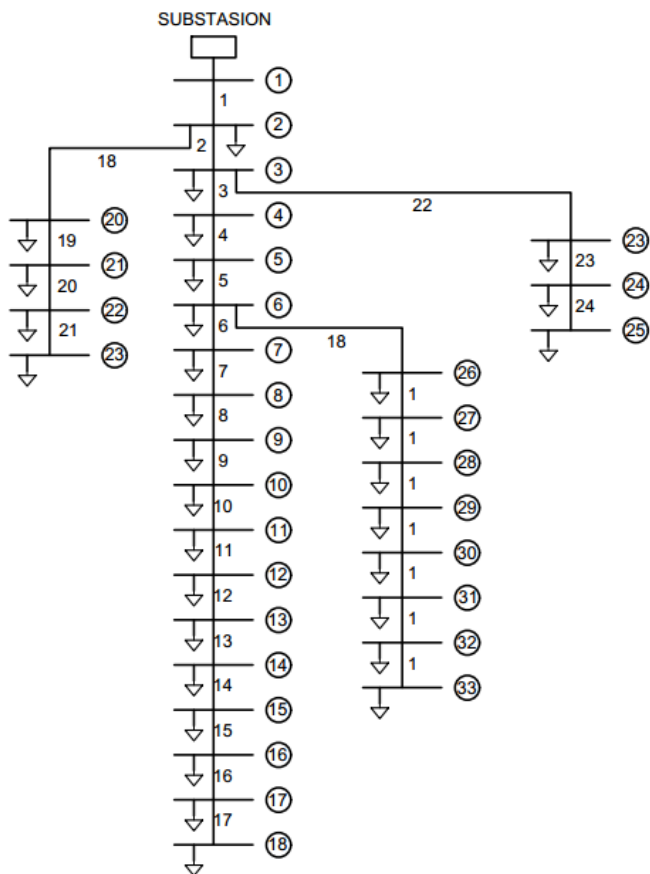
Diagram alir di atas menunjukkan penerapan tugas akhir terhadap sistem yang dikerjakan. Penjelasan dari diagram alir akan dibagi menjadi beberapa point agar mempermudah dalam pemahamannya, yaitu:

1. Inisiasi sistem IEEE 33 bus
2. Load flow
3. Inisialisasi untuk parameter OPF menggunakan GA
4. OPF menggunakan GA untuk minimum rugi saluran, minimum deviasi tegangan dan memaksimalkan keluaran DG
5. Simulasi OPF menggunakan GA dengan *Case* pembobotan yang berbeda-beda
6. Analisa Hasil Simulasi Sistem

3.2 Jaringan Distribusi IEEE 33 Bus

Sistem jaringan yang digunakan adalah jaringan distribusi IEEE 33 bus dengan rating tegangan 12,66 kV, sistem ini berbentuk radial seperti yang terlihat pada Gambar 3.2. Sistem yang digunakan adalah sistem tiga fasa seimbang, dimana fasa R, S dan T mempunyai nilai impedansi dan nilai pembebanan yang sama, sehingga pada penulisan tugas akhir ini pemodelan dapat dilakukan hanya dengan menggunakan salah satu fasa saja.

1. *Single line* jaringan distribusi IEEE 33 bus
Single line dari suatu sistem berfungsi untuk mempermudah dalam menganalisa aliran daya pada sistem. Sistem jaringan distribusi radial IEEE 33 bus ini, memiliki tipe jaringan distribusi seperti jaringan radial tipe pohon. Seperti bentuk pohon yang memiliki batang atau kita sebut saluran utama pada sistem ini, kemudian terdapat cabang-cabang. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.2, pada sistem ini cabang-cabang terdapat pada bus 2, 3, dan 6.



Gambar 3.2 Single Line Diagram Jaringan Distribusi IEEE 33 Bus

2. Data saluran sistem IEEE 33 bus

Data saluran sistem digunakan dalam perhitungan aliran daya pada sistem. Data saluran berisi informasi nilai impedansi yang berlaku pada saluran sistem tersebut. Berikut ini merupakan data saluran sistem yang terdapat pada jaringan distribusi IEEE 33 bus.

Tabel 3.1 Data Saluran Sistem IEEE 33 Bus

Bus Awal	Bus Akhir	Impedansi Saluran	
		R	X
1	2	0,0922	0,0470
2	3	0,0493	0,2511
3	4	0,0366	0,1864
4	5	0,3811	0,1941
5	6	0,8190	0,7070
6	7	0,1872	0,6188
7	8	0,7144	0,2351
8	9	1,0300	0,7400
9	10	1,0400	0,7400
10	11	0,1966	0,0640
11	12	0,3744	0,1238
12	13	1,4680	1,1550
13	14	0,5416	0,7129
14	15	0,5910	0,0526
15	16	0,7463	0,5450
16	17	1,2890	1,7210
17	18	0,7320	0,5740
2	19	0,1640	0,1565
19	20	1,5042	1,3554
20	21	0,4095	0,4784
21	22	0,7089	0,9373
3	23	0,4512	0,3083
23	24	0,8980	0,7091
24	25	0,8960	0,7011
6	26	0,2030	0,1034
26	27	0,2842	0,1447
27	28	1,0590	0,9337
28	29	0,8042	0,7006
29	30	0,5075	0,2585

Tabel 3.1 Data Saluran Sistem IEEE 33 Bus(lanjutan)

Bus Awal	Bus Akhir	Impedansi Saluran	
		R	X
30	31	0,9744	0,9630
31	32	0,3105	0,3619
32	33	0,3410	0,5302

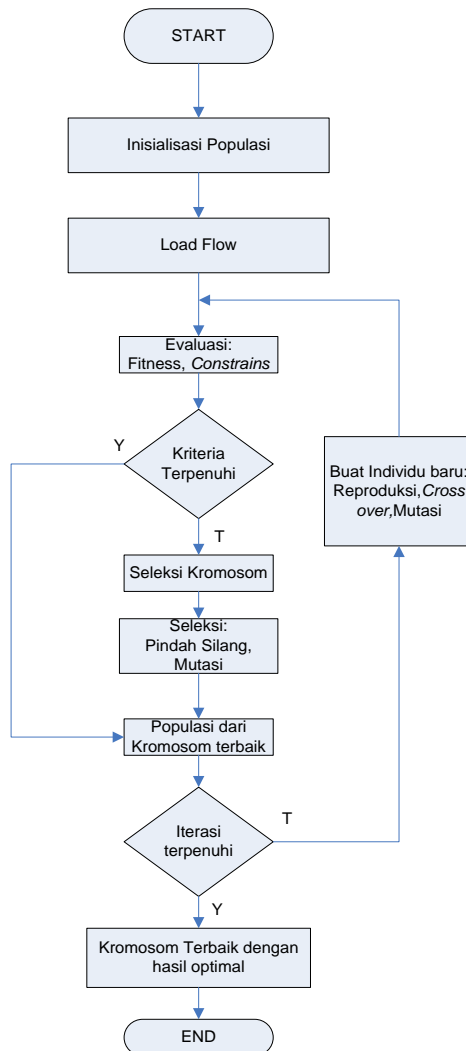
3. Data pembebanan sistem IEEE 33 bus

Data pembebanan difungsikan untuk mengetahui nilai pembebanan yang terdapat pada sistem sehingga data dapat diolah kedalam simulasi aliran daya. Data pembebanan tiap bus pada sistem IEEE 33 bus dapat dilihat pada tabel 3.2 dibawah ini. Data pembebanan berupa beban daya aktif (MW) dan daya reaktif (MVar). Jumlah total beban daya aktif pada sistem adalah 3,715 MW dan beban daya reaktifnya 2,3 Mvar.

Tabel 3.2 Data Pembebanan Sistem IEEE 33 bus

No Bus	Data Pembebanan		No Bus	Data Pembebanan	
	P(MW)	Q(MVar)		P(MW)	Q(MVar)
1	0,100	0,060	18	0,090	0,040
2	0,090	0,040	19	0,090	0,040
3	0,120	0,080	20	0,090	0,040
4	0,060	0,030	21	0,090	0,040
5	0,060	0,020	22	0,090	0,050
6	0,200	0,100	23	0,420	0,200
7	0,200	0,100	24	0,420	0,200
8	0,060	0,020	25	0,060	0,025
9	0,060	0,020	26	0,060	0,025
10	0,045	0,030	27	0,060	0,020
11	0,060	0,035	28	0,120	0,070
12	0,060	0,035	29	0,200	0,600
13	0,120	0,080	30	0,150	0,070
14	0,080	0,010	31	0,210	0,100
15	0,060	0,020	32	0,060	0,040
16	0,060	0,020	33	0,100	0,060
17	0,090	0,040			

3.3 Pemodelan OPF Menggunakan Algoritma Genetika



Gambar 3.3 Diagram Alir OPF Menggunakan *Genetic Algorithm*

Pemodelan OPF menggunakan algoritma genetika bertujuan untuk mempermudah mendapatkan keadaan sistem yang optimal dengan melakukan pengacakan kemungkinan-kemungkinan dengan meniru perilaku genetika. Gambar 3.3 merupakan *flowchart* yang digunakan pada tugas akhir ini untuk mendapatkan *optimal power flow* menggunakan GA. Proses genetika ini meliputi proses pindah silang (*crossover*) dan mutasi (*mutate*) yang nantinya dievaluasi sesuai dengan batasan (*constrain*) dan fungsi objektif. Agar mempermudah pemodelan algoritma genetika, disusun point-point yang merupakan proses tersebut, yaitu:

1. Penentuan variabel awal
2. Inisialisasi populasi
3. Pengkodean kromosom
4. Evaluasi populasi
5. Seleksi pindah silang
6. Seleksi mutasi
7. Populasi dari kromosom terbaik
8. Iterasi

3.3.1 Penentuan Variabel Awal

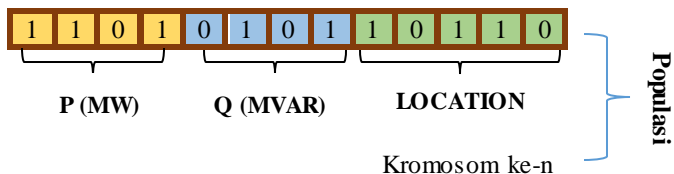
Penentuan variabel awal dibutuhkan sebagai parameter nilai sebelum genetika algoritma bekerja, Variabel awal yang dimaksud yaitu:

1. Kapasitas
Berisi nilai maksimum dari kapasitas *Distributed Generation* dan kapasitor yang akan dipasang pada sistem. Nilai yang terpasang berupa daya aktif P(MW) dan daya reaktif Q (MW). Nilai daya aktif berasal dari DG dan nilai daya reaktif berasal dari DG dan kapasitor. Nilai daya aktif dan daya reaktif yang akan dipasang selama proses sesuai dengan metode *Rule of Thumb* yakni 2/3 dari pembebanan maksimal dari sistem
2. Jumlah *Distributed Generation* dan Kapasitor
Jumlah *Distributed Generation* (DG) dan kapasitor yang akan dipasang pada sistem ditentukan secara manual agar kondisi pengoptimalan pada sistem beragam.

3. Ukuran Populasi
Ukuran populasi merupakan kumpulan dari kromosom yang berisi data lokasi dan kapasitas yang akan dioptimalkan.
4. Jumlah Generasi
Jumlah generasi merupakan kumpulan kromosom terbaik dari tiap populasi yang mengalami proses seleksi sebelumnya.
5. Nilai Pembobotan
Terdapat tiga pembobotan terdiri dari minimisasi rugi daya, minimisasi deviasi tegangan dan pemaksimalan keluaran DG. Nilai dari tiga pembobotan ini harus bernilai 1 ketika dijumlahkan. Besar nilai pembobotan disesuaikan dengan kebutuhan rasio dari fungsi objektif yang ingin dioptimalkan.

3.3.2 Inisialisasi Populasi

Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya, Bahwa populasi merupakan kumpulan dari kromosom yang berisi data data yang akan diolah oleh genetik algoritma, Proses ini merupakan terbentuknya kromosom yang berisikan data pada variabel awal yaitu jumlah DG dan kapasitor. Benang kromosom terdiri dari 13 bit tiap DG atau kapasitor. Dalam tiap benang 4 bit pertama berisikan besar nilai kapasitas daya aktif. Sedangkan 4 bit kedua berisikan nilai kapasitas daya reaktif. Sedangkan 5 bit terakhir berisikan lokasi penempatan. Untuk kapasitor daya aktif diabaikan sehingga dari awal akan di inisiasikan bernilai 0. Panjang benang sejumlah DG dan kapasitor dikalikan 13 bit. Dalam 1 populasi terdiri dari beberapa kromosom yang jumlahnya sudah ditentukan.



Gambar 3.4 Inisialisasi kromosom dalam 1 buah populasi

3.3.3 Pengkodean Kromosom

Kromosom merupakan kumpulan dari gen-gen yang membentuk individu. Pengkodean kromosom dilakukan agar data informasi yang terdapat pada kromosom dapat diterjemahkan atau diterapkan pada sistem, Pengkodean dilakukan dengan mencocokkan pola kromosom yang timbul dengan database data yang nilai parameternya sudah ditentukan sebelumnya. Untuk menentukan daya keluaran dan lokasi penempatan DG dan kapasitor.

3.3.4 Evaluasi Populasi

Evaluasi populasi dilakukan agar mengetahui kualitas kromosom pada populasi yang telah terbentuk dalam bentuk nilai yang dinamakan fungsi "*fitness*", Fungsi *fitness* ini berisikan formulasi dari "Fungsi Objektif" yang merupakan representasi dari rugi saluran dan nilai deviasi tegangan, *Fitness* terbaik adalah *fitness* dengan nilai paling kecil. Evaluasi populasi memproses kromosom berisikan data lokasi dan kapasitas pembangkitan yang telah diterapkan pada sistem.

3.3.5 Seleksi Pindah Silang

Pindah silang digunakan untuk membentuk keturunan baru berdasarkan induk yang terpilih. Komponen ini lebih dominan dibandingkan dengan komponen mutasi dalam algoritma genetika. Proses seleksi pindah silang menggunakan dua buah kromosom. Proses seleksi pindah silang dilakukan dengan harapan terbentuknya kromosom baru akan mempunyai bagian lebih baik dari kromosom lama atau induknya.

Proses pindah silang ini dilakukan, dengan mendapatkan dua buah kromosom yang kemudian berperan menjadi individu induk. Selanjutnya, titik pindah silang ditentukan secara acak. Setelah penentuan titik pindah silang, seperti yang terdapat pada Gambar 3.4 dibawah, sebagian gen yang terdapat pada kromosom ditukar sehingga terbentuklah dua individu baru atau yang disebut dengan anak melalui hasil persilangan dari dua induk pindah silang.

3.3.7 Populasi dari Kromosom Terbaik

Karena seleksi dilakukan secara acak, maka tidak ada jaminan bahwa suatu kromosom bernilai *fitness* tertinggi akan selalu terpilih, Walaupun individu bernilai *fitness* tertinggi terpilih, mungkin saja akan merusak karena proses pindah silang, Untuk menjaga agar kromosom bernilai *fitness* tertinggi tersebut tidak hilang selama proses seleksi, maka dibuat proses yang dikenal sebagai *elitisme* sebagai tempat untuk menyimpan kromosom yang bernilai *fitness* terbaik.

3.3.8 Iterasi

Iterasi adalah pengulangan suatu proses dengan nilai baru yang didapatkan dari hasil proses pada iterasi sebelumnya,

Iterasi pada genetik algoritma berjenis generation replacement, N individu pada suatu generasi digantikan sekaligus oleh N individu baru hasil pindah silang dan mutase, Untuk mempertahankan individu terbaik, diperlukan skema elitism yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya

Adapun prosedur penggantian populasi pada algoritma genetik ialah :

1. Mengganti individu yang memiliki nilai *fitness* terkecil
2. Mengganti individu yang paling tua/jelek,

3.4 Fungsi Multi Objektif

Memilih tempat terbaik untuk instalasi dan kapasitas DG dan kapasitor merupakan masalah optimasi diskrit kompleks. Langkah pertama dalam prosedur optimasi adalah untuk menentukan fungsi objektif terlebih dahulu. Fungsi multi objektif yang akan dibahas dalam tugas akhir ini meliputi minimisasi rugi daya aktif, minimisasi deviasi tegangan, dan peningkatan daya keluaran aktif [11]:

1. Minimisasi Rugi Daya Aktif

Kerugian daya aktif merupakan pertimbangan penting dalam merancang dan perencanaan sistem distribusi. Fungsi Rugi daya minimal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan rumus dibawah ini:

$$\min F_1(x) = P_{Loss, DG+CAP} = \sum_{i=1}^{br} I_i^2 R_i \quad (3.1)$$

Dimana $P_{L,DG+CAP}$ merupakan total kerugian daya aktif pada seluruh sistem distribusi dengan menggunakan DG dan kapasitor secara simultan, sedangkan I_i merupakan arus pada cabang dan R_i adalah resistansi pada cabang.

2. Minimisasi Deviasi Tegangan

Tegangan bus merupakan salah satu hal yang sangat penting dalam suatu sistem. Salah satu keuntungan peletakan lokasi dan penentuan ukuran DG dan kapasitor yang tepat dapat memperbaiki profil tegangan. Deviasi tegangan dapat dikalkulasi dengan persamaan berikut:

$$\min F_2 (x) = \sum_{i=0}^n \left(\frac{V_i - V_i^{spec}}{V_i^{max} - V_i^{min}} \right)^2 \quad (3.2)$$

Dimana n merupakan total dari jumlah bus dan V_i merupakan tegangan magnitude dari bus ke- i . V_i^{spec} merupakan tegangan spesifikasi atau tegangan standar dari bus tersebut. V_i^{max} dan V_i^{min} merupakan tegangan maksimum dan minimum dari bus tersebut.

3. Peningkatan Keluaran Daya Aktif

Penentuan daya aktif DG yang diperlukan pada bus tertentu merupakan hal yang penting, karena hal ini dapat berpengaruh pada efisiensi dan biaya pemasangan DG yang terpasang pada sistem. Peningkatan keluaran daya aktif DG dapat dikalkulasikan dengan persamaan berikut:

$$\max F_3 (x) = \sum_{i=1}^{n_{DG}} P_{DG_i} \quad (3.3)$$

Dimana n_{DG} merupakan jumlah DG yang diinputkan. Sedangkan P_{DG_i} merupakan daya keluaran aktif DG ke i .

Fungsi multi objektif pada tugas akhir ini adalah untuk mencari letak pemasangan DG dan kapasitor yang optimal. Dari multi objektif yang telah disebutkan, dapat dijadikan persamaan untuk menormalisasi fungsi multi objektif:

$$\min F(x) = W_1 \frac{F_1(x)}{F_1^0} + W_2 \frac{F_2(x)}{F_2^0} - W_3 \frac{F_3(x)}{F_3^0} \quad (3.4)$$

Dimana W_1, W_2, W_3 merupakan bobot dari masing-masing fungsi, dengan syarat nilai $W_1 + W_2 + W_3 = 1$ dan nilai $W_i \geq 0$ ($i=1,2,3$). F_1^0, F_2^0, F_3^0 adalah nilai fungsi objektif sebelum diberikan DG dan kapasitor.

3.5 *Constraint*

Disetiap optimasi harus ada *constraint* atau batasan sebagai kriteria dalam pemilihan solusi dan *fitness*. Pada tugas akhir ini ada beberapa kriteria atau *constraint* yang harus dipenuhi :

1. *Constraint* tegangan

Merupakan batasan *under* dan *over voltage* pada setiap bus pada saat pemilihan individu terbaik, sehingga nantinya menghasilkan tegangan yang tidak melewati *constraint* tegangan tersebut. *Constrain* tegangan yang harus dipenuhi adalah :

$$0,95 \text{ pu} \leq V_i \leq 1,05 \text{ pu} \quad (3.5)$$

2. *Constraint* injek daya aktif (P (MW)) dari DG

Merupakan batasan maksimal daya aktif DG yang diinjeksikan ke dalam sistem, sehingga nantinya menghasilkan *size* atau kapasitas DG yang tidak melewati *constraint* tersebut. Sesuai dengan teori *Rule of Thumb* maksimum pembangkitan DG adalah 2/3 dari daya aktif sistem. Berikut persamaan yang digunakan:

$$\sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{DGi} \leq \frac{2}{3} * \sum_{j=1}^{N_L} P_D(j) \quad (3.6)$$

3. *Constraint* injek daya reaktif (Q (MVar)) dari kapasitor.

Merupakan batasan maksimal daya reaktif kapasitor yang diinjeksikan ke dalam sistem, sehingga nantinya menghasilkan *size* atau kapasitas kapasitor yang tidak melewati *constraint* tersebut. Sesuai dengan teori *Rule of Thumb* maksimum pembangkitan daya reaktif DG dan

kapasitor adalah $2/3$ dari daya reaktif sistem. Berikut persamaan yang digunakan:

$$\sum_{i=1}^{N_c} Q_c(i) + \sum_{i=1}^{N_{DG}} Q_{DG}(i) \leq \sum_{j=2}^n Q_D(j) \quad (3.7)$$

BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS

Pada tugas akhir ini, simulasi dilakukan pada saat sistem radial yang telah ada di beri penambahan DG dan kapasitor dengan menggunakan *Genetic Algorirhm*. Peletakan dan kapasitas DG dan kapasitor diacak untuk kemudian ditemukan nilai fitness terbaik yang pembobotannya mempertimbangkan tiga hal yaitu: rugi daya, deviasi tegangan dan keluaran DG. Semakin kecil nilai fitness pada tugas akhir ini, menunjukkan hasil yang semakin baik. Simulasi pada tugas ini dilakukan menggunakan MATLAB dan divalidasi menggunakan ETAP.

4.1 Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus

Simulasi aliran daya sistem distribusi radial 33 bus tanpa penambahan DG dan kapasitor maupun modifikasi lainnya menjadi acuan dari kasus-kasus berikutnya sekaligus tolak ukur bagi jalannya program dan parameter yang terdapat pada program GA untuk sistem distribusi radial 33 bus. Pada simulasi ini didapatkan nilai awal aliran daya, tegangan dan arus pada masing-masing bus pada sistem, besar pembebanan, besar nilai kerugian daya dan deviasi tegangan pada sistem. Hasil Simulasi aliran daya awal ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.1 Tegangan Bus pada Sistem IEEE 33 Bus

Bus	Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	Error (%)
1	12,6600	12,66	0,00000%
2	12,6224	12,62243	0,00001%
3	12,4440	12,444	0,00003%
4	12,3493	12,349	0,00003%
5	12,2556	12,256	0,00002%
6	12,0227	12,023	0,00001%
7	11,9785	11,979	0,00001%

Tabel 4.1 Tegangan Bus pada Sistem IEEE 33 Bus (lanjutan)

Bus	Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	MATLAB (kV)
8	11,9170	11,917	0,00001%
9	11,8376	11,838	0,00001%
10	11,7640	11,764	0,00002%
11	11,7531	11,753	0,00003%
12	11,7341	11,734	0,00001%
13	11,6567	11,657	0,00004%
14	11,6280	11,628	0,00002%
15	11,6102	11,610	0,00002%
16	11,5928	11,593	0,00000%
17	11,5672	11,567	0,00004%
18	11,5595	11,559	0,00001%
19	12,6157	12,616	0,00001%
20	12,5704	12,570	0,00003%
21	12,5615	12,562	0,00002%
22	12,5535	12,553	0,00002%
23	12,3986	12,399	0,00001%
24	12,3141	12,314	0,00001%
25	12,2720	12,272	0,00002%
26	11,9982	11,998	0,00003%
27	11,9658	11,966	0,00003%
28	11,8210	11,821	0,00001%
29	11,7169	11,717	0,00000%
30	11,6719	11,672	0,00003%
31	11,6192	11,619	0,00003%
32	11,6076	11,608	0,00003%
33	11,6040	11,604	0,00003%

Tabel 4.1 menunjukkan tegangan pada masing-masing bus pada sistem distribusi radial 33 bus. Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa tegangan pada bus ke-5 hingga 18 dan bus ke-26 hingga 33 berada diluar batas toleransi tegangan yaitu $\pm 5\%$ dari tegangan sistem 12.66kV (12.027kV-13.293kV). Tegangan dengan drop tegangan paling rendah berada pada bus 18 yakni sebesar 11.5595 kV.

Tabel 4.2 Kerugian Jaringan antar Bus pada Sistem IEEE 33 Bus

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan		
		MATLAB(kW)	ETAP(kW)	Error (%)
1	2	12,2405	12,2405	0,00002%
2	3	51,7917	51,7917	0,00003%
3	4	19,9007	19,9007	0,00005%
4	5	18,6992	18,6992	0,00001%
5	6	38,2492	38,2492	0,00002%
6	7	1,9146	1,9146	0,00006%
7	8	4,8586	4,8586	0,00005%
8	9	4,1807	4,1807	0,00002%
9	10	3,5611	3,5611	0,00000%
10	11	0,5537	0,5537	0,00001%
11	12	0,8812	0,8812	0,00003%
12	13	2,6663	2,6663	0,00004%
13	14	0,7292	0,7292	0,00003%
14	15	0,3570	0,3570	0,00001%
15	16	0,2815	0,2815	0,00002%
16	17	0,2516	0,2516	0,00005%
17	18	0,0531	0,0531	0,00005%
2	19	0,1610	0,1610	0,00006%
19	20	0,8322	0,8322	0,00006%
20	21	0,1008	0,1008	0,00003%
21	22	0,0436	0,0436	0,00006%

Tabel 4.2 Kerugian Jaringan antar Bus pada Sistem IEEE 33 Bus (lanjutan)

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	Bus Kirim	Bus Terima
		MATLAB(kW)	ETAP(kW)	Error (%)
3	23	3,1816	3,1816	0,00005%
23	24	5,1437	5,1437	0,00006%
24	25	1,2875	1,2875	0,00004%
6	26	2,6009	2,6009	0,00013%
26	27	3,3290	3,3290	0,00009%
27	28	11,3009	11,3009	0,00013%
28	29	7,8334	7,8333	0,00012%
29	30	3,8957	3,8957	0,00027%
30	31	1,5936	1,5936	0,00007%
31	32	0,2132	0,2132	0,00007%
32	33	0,0132	0,0132	0,00004%
Total		202,7000397	202,699965	0,00004%

Tabel 4.2 menunjukkan kerugian daya pada tiap-tiap saluran yang terdapat pada sistem IEEE 33 bus. Kerugian daya pada pemodelan sistem di MATLAB secara keseluruhan menunjukkan nilai sebesar 202,7000397 kW sedangkan pada ETAP menunjukkan angka 202,699965 kW. Perbandingan hasil pemodelan MATLAB dengan ETAP hanya memiliki kesalahan yang nilainya sangat kecil yakni sekitar 0,00004%.

Tabel 4.3 Deviasi Tegangan Setiap Bus pada Sistem IEEE 33 Bus

Bus	Deviasi Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	Error (%)
1	0	0	0.0797872
2	-0.0376	-0.03757	0.0046296
3	-0.216	-0.21601	0.0064371

Tabel 4.3 Deviasi Tegangan Setiap Bus pada Sistem IEEE 33 Bus (lanjutan)

Bus	Deviasi Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	Error (%)
4	-0.3107	-0.31072	0.0074184
5	-0.4044	-0.40437	0.0047074
6	-0.6373	-0.63733	0.0058694
7	-0.6815	-0.68146	0.0013459
8	-0.743	-0.74301	0.0024319
9	-0.8224	-0.82238	0
10	-0.896	-0.896	0.0011027
11	-0.9069	-0.90689	0.0032401
12	-0.9259	-0.92587	0.0039868
13	-1.0033	-1.00326	0.003876
14	-1.032	-1.03196	0.0038102
15	-1.0498	-1.04984	0.0037481
16	-1.0672	-1.06716	0.0027452
17	-1.0928	-1.09283	0.0009087
18	-1.1005	-1.10051	0.0902935
19	-0.0443	-0.04426	0.0558036
20	-0.0896	-0.08955	0.0304569
21	-0.0985	-0.09847	0.0375587
22	-0.1065	-0.10654	0
23	-0.2614	-0.2614	0.011564
24	-0.3459	-0.34586	0.0128866
25	-0.388	-0.38795	0.0060441
26	-0.6618	-0.66176	0.0014405
27	-0.6942	-0.69421	0.0047676
28	-0.839	-0.83904	0.0021207
29	-0.9431	-0.94308	0.0020241

Tabel 4.3 Deviasi Tegangan Setiap Bus pada Sistem IEEE 33 Bus (lanjutan)

Bus	Deviasi Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	Error (%)
30	-0.9881	-0.98812	0
31	-1.0408	-1.0408	0.0009502
32	-1.0524	-1.05239	0.0018939
33	-1.056	-1.05598	0.0797872

Tabel 4.3 menunjukkan nilai deviasi tegangan pada masing-masing di sistem distribusi radial IEEE 33 bus. Nilai negatif menunjukkan bahwa nilai nominal deviasi berada dibawah tegangan sistem. Besar deviasi tegangan ini apabila dirubah dalam bentuk indeks menghasilkan angka sebesar 11.712584. dari table 4.3 terlihat bahwa pada bus ke 18 memiliki nilai deviasi tegangan yang paling besar yaitu sebesar 1.005kV dibawah tegangan sistem.

4.2 Optimasi Peletakan DG dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial 33 Bus Menggunakan GA dengan Pembobotan Seimbang

Pada kasus pembobotan seimbang, pembobotan yang digunakan untuk minimisasi rugi daya sebesar 0.33, minimisasi deviasi tegangan sebesar 0.33, dan pemaksimalan keluaran DG sebesar 0.34 sehingga total nilai pembobotan adalah 1. Kasus ini merupakan kasus yang akan menjadi kasus dasar yang akan dijadikan sebagai kasus pembandingan pada kasus selanjutnya.

Kasus pembobotan seimbang ini terdapat tiga cabang kasus. Kasus yang pertama adalah kasus A-1 yaitu pembobotan seimbang dengan pemasangan 1 buah DG dan 1 buah kapasitor. Kasus yang kedua adalah kasus A-2 yaitu pembobotan seimbang dengan pemasangan 2 buah DG dan 2 buah kapasitor. Kasus yang ketiga adalah kasus A-3 yaitu pembobotan seimbang dengan pemasangan 3 buah DG dan 3 buah kapasitor. Hasil optimasi dengan menggunakan ketiga kasus tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.4 dibawah:

Tabel 4.4 Hasil Optimasi Rugi Daya, Deviasi Tegangan dan Keluaran DG dengan Pembobotan Seimbang

Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Lossess (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
		Lokasi	P (MW)	Q (MVAR)	Lokasi	Q (MVAR)			
1	1	9	1.92	0.96	30	0.66	60.1456	0.427199	1.92
2	2	10	0.96	0.48	31	0.18	30.4406	0.098393	2.4
		29	1.44	0.72	25	0.54			
3	3	12	0.96	0.48	23	0.42	17.2422	0.08486	2.4
		25	0.48	0.24	26	0.12			
		31	0.96	0.48	28	0.42			

Pada tabel 4.4 diatas menunjukkan kasus A-1 yaitu pemasangan 1 buah DG dan 1 buah kapasitor dengan pembobotan seimbang, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 60.1456 kW. Rugi daya turun sebesar 70.33% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.427199, jauh dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan turun sebesar 96.35% dari nilai indeks awal sistem.

Kasus A-2 yaitu kasus pemasangan 2 buah DG dan 2 buah kapasitor dengan pembobotan seimbang, menunjukkan hasil rugi daya sebesar 30.4406 kW. Hasil rugi daya ini menurun sebesar 84,98% dari rugi awal sistem 202.7000397 kW. Dan apabila dibandingkan dengan hasil rugi daya pada kasus A-1, kasus A-2 dapat mengoptimasi rugi daya sebesar 49.39% dari rugi daya yang dihasilkan dari kasus A-1. Hasil deviasi tegangan pada kasus A-2 menghasilkan angka sebesar 0.098393 dari deviasi tegangan awal 11.712584. Deviasi tegangan ini turun sebesar 99.15% dari nilai indeks awal. Nilai indeks ini pun menurun sebesar 76.97% dari deviasi tegangan pada kasus A-1.

Kasus A-3 yaitu kasus pemasangan 3 buah DG dan 3 buah kapasitor dengan pembobotan seimbang, menunjukkan hasil rugi daya sebesar 17.2422 kW. Hasil rugi daya ini menurun sebesar 91.49% dari

rugi awal sistem 202.7000397 kW. Dibandingkan dengan hasil rugi daya pada kasus A-1, kasus A-3 dapat mengoptimasi rugi daya sebesar 71.33% dari rugi daya yang dihasilkan dari kasus A-1. Dibandingkan dengan hasil rugi daya pada kasus A-2, kasus A-3 dapat mengoptimasi rugi daya sebesar 65.09% dari rugi daya yang dihasilkan dari kasus A-2. Hasil deviasi tegangan pada kasus A-3 menghasilkan angka sebesar 0.08486 dari deviasi tegangan awal 11.712584. Deviasi tegangan ini turun sebesar 99.28% dari nilai indeks awal. Nilai indeks ini menurun sebesar 76.97% dari deviasi tegangan pada kasus A-1 dan menurun sebesar 13.75% dari deviasi tegangan pada kasus A-2.

Dari ketiga data diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa dapat disimpulkan bahwa penambahan DG dan kapasitor mulai dari 1 sampai 3 dengan kondisi pembobotan seimbang pada sistem IEEE 33 bus dapat memperbaiki rugi daya dan deviasi tegangan. Semakin banyak DG dan kapasitor yang dipasang semakin memperkecil nilai rugi daya dan deviasi tegangan.

4.3 Optimasi Peletakan dan Penentuan Kapasitas DG dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial 33 Bus Menggunakan GA dengan Variasi Pembobotan Rugi Daya

Pada kasus optimasi dengan variasi pembobotan rugi daya, pembobotan difokuskan dengan melihat pengaruh perubahan pembobotan rugi daya terhadap hasil aliran daya. Pada optimasi dengan variasi pembobotan ini terdapat 6 kasus yang akan dibandingkan dengan kasus pembobotan seimbang yang telah dibahas pada bab 4.2.

Kasus yang terdapat pada bab 4.3 ini terdiri dari:

1. Kasus B-1 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.6, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.2, pembobotan keluaran DG sebesar 0.2 dengan pemasangan 1 buah DG dan 1 buah kapasitor.
2. Kasus B-2 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.6, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.2, pembobotan keluaran DG sebesar 0.2 dengan pemasangan 2 buah DG dan 2 buah kapasitor.
3. Kasus B-3 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.6, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.2,

- pembobotan keluaran DG sebesar 0.2 dengan pemasangan 3 buah DG dan 3 buah kapasitor.
4. Kasus C-1 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.8, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.1, pembobotan keluaran DG sebesar 0.1 dengan pemasangan 1 buah DG dan 1 buah kapasitor.
 5. Kasus C-2 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.8, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.1, pembobotan keluaran DG sebesar 0.1 dengan pemasangan 2 buah DG dan 2 buah kapasitor.
 6. Kasus C-3 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.8, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.1, pembobotan keluaran DG sebesar 0.1 dengan pemasangan 3 buah DG dan 3 buah kapasitor.

Hasil optimasi dengan variasi pembobotan rugi daya dapat dilihat pada tabel 4.5 dibawah ini:

Tabel 4.5 Hasil Optimasi Rugi Daya, Deviasi Tegangan dan Keluaran DG dengan Variasi Pembobotan Rugi Daya

Bobot Minimisasi Rugi Daya	Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluar- an DG (MW)
			Loka- si	P (MW)	Q (MVAR)	Loka- si	Q (MVAR)			
0.33	1	1	9	1.92	0.96	30	0.66	60.1456	0.4272	1.92
0.6	1	1	27	1.92	0.96	30	0.9	54.558	1.3382	1.92
0.8	1	1	9	1.92	0.96	30	0.9	54.0688	1.64804	1.92
0.33	2	2	10	0.96	0.48	31	0.18	30.4406	0.09839	2.4
			29	1.44	0.72	25	0.54			
0.6	2	2	16	1.08	0.54	24	0.54	28.4379	0.10513	2.4
			30	1.32	0.66	31	0.3			
0.8	2	2	12	0.96	0.48	24	0.48	25.9316	0.11677	1.8
			15	0.84	0.42	30	0.54			

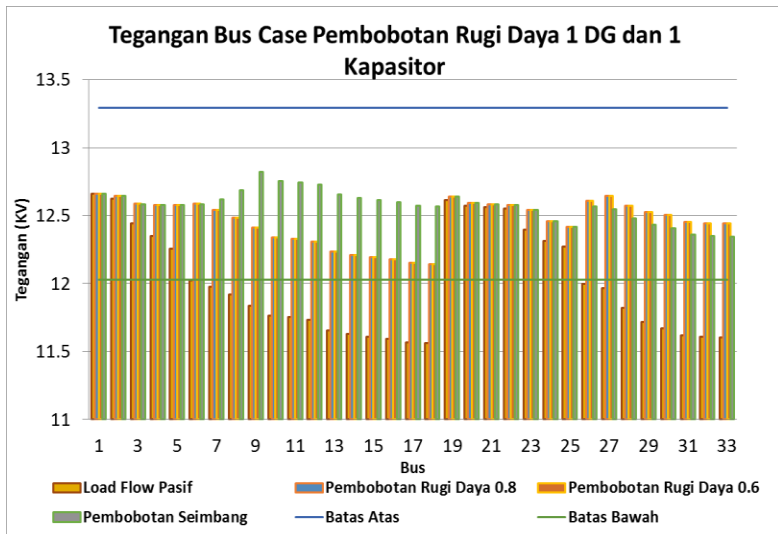
Tabel 4.5 Hasil Optimasi Rugi Daya, Deviasi Tegangan dan Keluaran DG dengan Variasi Pembobotan Rugi Daya (lanjutan)

Bobot Minimisasi Rugi Daya	Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
			Loka-si	P (MW)	Q (MVAR)	Loka-si	Q (MVAR)			
0.33	3	3	12	0.96	0.48	23	0.42	17.2422	0.08486	2.4
			25	0.48	0.24	26	0.12			
			31	0.96	0.48	28	0.42			
0.6	3	3	12	0.96	0.48	23	0.42	15.0316	0.08722	2.4
			25	0.6	0.3	27	0.12			
			31	0.84	0.42	30	0.54			
0.8	3	3	14	0.72	0.36	7	0.12	13.0974	0.12489	2.4
			25	0.72	0.36	24	0.3			
			30	0.96	0.46	30	0.48			

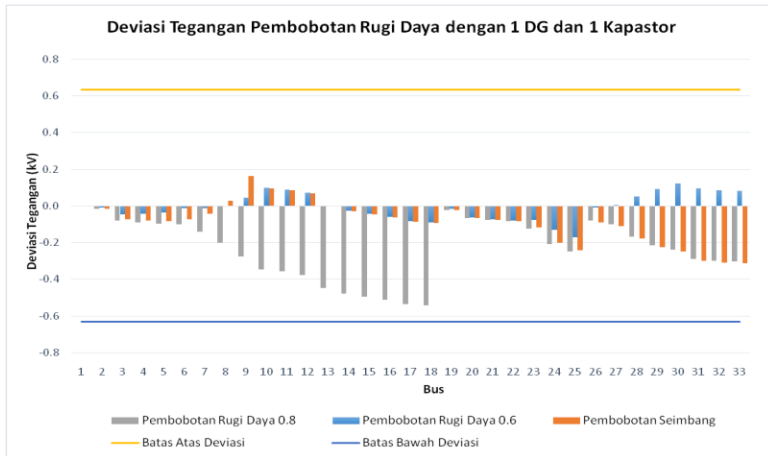
Pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa pemasangan DG dan kapasitor pada sistem secara keseluruhan mampu mengurangi rugi daya dan deviasi tegangan. Kasus B-1 yaitu pemasangan 1 buah DG dan 1 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.6, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.2, pembobotan keluaran DG sebesar 0.2, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 54.558 kW. Rugi daya turun sebesar 73.08% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW dan turun sebesar 9.29% dari kasus A1 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 1 DG dan 1 Kapasitor. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 1.3382, jauh dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan turun sebesar 85.93% dari nilai indeks awal sistem. Namun hasil deviasi tegangan naik sebesar 1.15 kali terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus A-1. Naiknya deviasi tegangan pada kasus B1 terhadap A-1 diakibatkan turunnya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-1 menjadi 0.2 pada kasus B-1.

kasus C-1 yaitu pemasangan 1 buah DG dan 1 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.8, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.1, pembobotan keluaran DG sebesar 0.1, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 54.0688 kW. Rugi daya turun sebesar 73.33% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW dan turun sebesar 10.1%

dari kasus A1 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 1 DG dan 1 Kapasitor. Selain itu, kerugian daya juga menurun sebesar 0.9% terhadap nilai rugi daya pada kasus B-1. Data tersebut menunjukkan naiknya pembobotan pada rugi daya berpengaruh pada turunnya nilai rugi daya pada sistem IEEE 33 bus. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 1.64804, nilai tersebut berada dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan mengalami penurunan sebesar 96.35% dari nilai indeks awal sistem. Namun hasil deviasi tegangan naik sebesar 3.86 kali terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus A-1 dan naik sebesar 1.23 kali terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus B-1. Naiknya deviasi tegangan pada kasus C-1 terhadap kasus B1 dan A-1 diakibatkan turunnya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-1 menjadi 0.2 pada kasus B-1 dan 0.1 pada kasus C1. Hasil plotting deviasi tegangan tiap bus dari kasus A-1 sampai C-1 ditunjukkan pada Gambar 4.2. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa seluruh kasus telah memenuhi *constraint*.



Gambar 4.1 Grafik Tegangan Bus Case Pembobotan Rugi Daya dengan 1 DG dan 1 Kapasitor

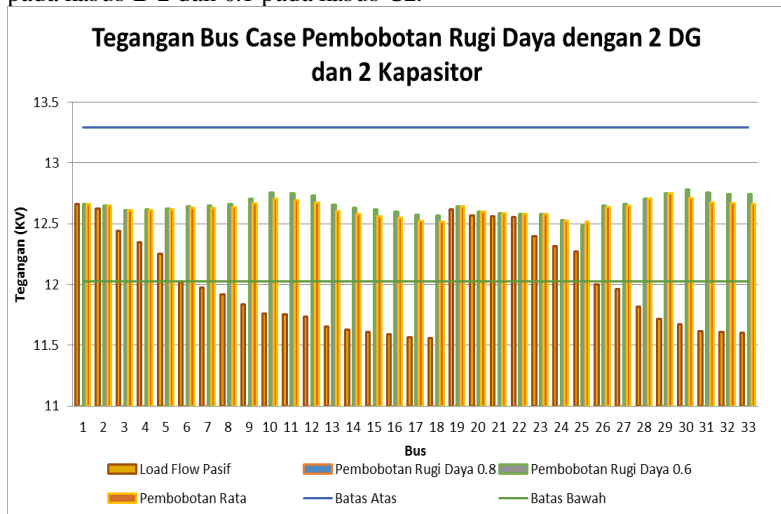


Gambar 4.2 Grafik Deviasi Tegangan Pembobotan Rugi Daya dengan 1 DG dan 1 Kapasitor

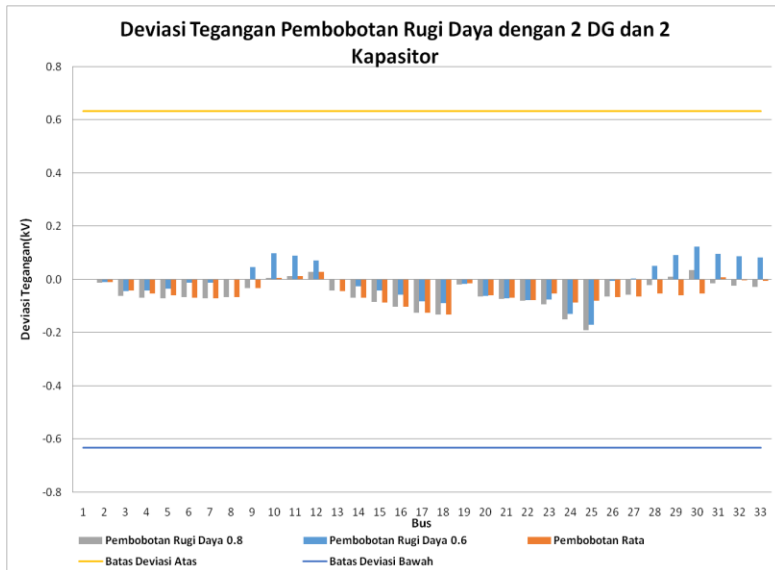
Pada Gambar 4.1 menunjukkan tegangan pada masing-masing bus. Gambar tersebut menunjukkan pada optimasi mampu memperbaiki profil tegangan dibandingkan dengan profil tegangan pada sistem awal. Dari case A-1 sampai case C-1 profil tegangan telah memenuhi standar $\pm 5\%$ dari tegangan 12.66kV.

Kasus selanjutnya adalah kasus B-2 yaitu pemasangan 2 buah DG dan 2 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.6, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.2, pembobotan keluaran DG sebesar 0.2, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 28.4379 kW. Rugi daya turun sebesar 85.97% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW dan turun sebesar 6.58% dari kasus A2 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 2 DG dan 2 Kapasitor. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.10513, jauh dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan turun sebesar 99.1% dari nilai indeks awal sistem. Namun hasil deviasi tegangan naik sebesar 1.07 kali terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus A-2. Naiknya deviasi tegangan pada kasus B2 terhadap A-2 diakibatkan turunnya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-1 menjadi 0.2 pada kasus B-2.

kasus C-2 yaitu pemasangan 2 buah DG dan 2 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.8, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.1, pembobotan keluaran DG sebesar 0.1, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 25.9316 kW. Rugi daya turun sebesar 87.2% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW dan turun sebesar 14.81% dari kasus A2 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 2 DG dan 2 Kapasitor. Selain itu, kerugian daya juga menurun sebesar 0.9% terhadap nilai rugi daya pada kasus B-2. Data tersebut menunjukkan naiknya pembobotan pada rugi daya berpengaruh pada turunnya nilai rugi daya pada sistem IEEE 33 bus. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.11677, nilai tersebut berada dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan mengalami penurunan sebesar 99% dari nilai indeks awal sistem. Namun hasil deviasi tegangan naik sebesar 1.19 kali terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus A-2 dan naik sebesar 1.1 kali terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus B-2. Naiknya deviasi tegangan pada kasus C-2 terhadap kasus B2 dan A-2 diakibatkan turunnya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-2 menjadi 0.2 pada kasus B-2 dan 0.1 pada kasus C2.



Gambar 4.3 Grafik Tegangan Bus Case Pembobotan Rugi Daya dengan 2 DG dan 2 Kapasitor



Gambar 4.4 Grafik Deviasi Tegangan Pembobotan Rugi Daya dengan 2 DG dan 2 Kapasitor

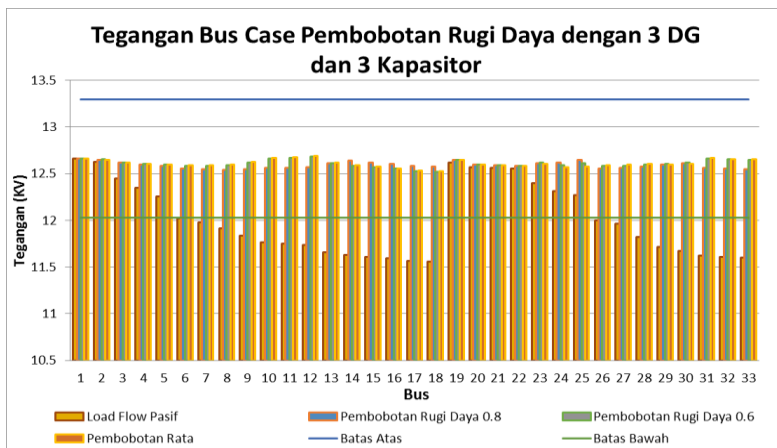
Pada Gambar 4.3 menunjukkan tegangan pada masing-masing bus. Gambar tersebut menunjukkan pada optimasi dengan pemasangan DG dan kapasitor mampu memperbaiki profil tegangan dibandingkan dengan profil tegangan pada sistem awal. Dari case A-2 sampai case C-2 profil tegangan telah memenuhi standar $\pm 5\%$ dari tegangan 12.66kV. Hasil plotting deviasi tegangan tiap bus dari kasus A-2 sampai C-2 ditunjukkan pada Gambar 4.4. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa seluruh kasus telah memenuhi *constraint* deviasi tegangan.

Kasus selanjutnya adalah kasus B-3 yaitu pemasangan 3 buah DG dan 3 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.6, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.2, pembobotan keluaran DG sebesar 0.2, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 15.0316 kW. Rugi daya turun sebesar 92.58% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW dan turun sebesar 12.82% dari kasus A3 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 3 DG dan 3 Kapasitor. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.08722, jauh dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan turun

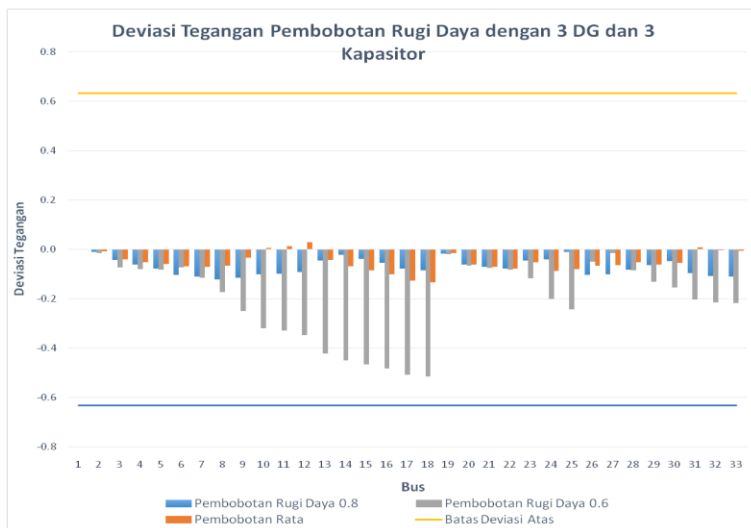
sebesar 99.26% dari nilai indeks awal sistem. Namun hasil deviasi tegangan naik sebesar 1.029 kali terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus A-3. Naiknya deviasi tegangan pada kasus B-3 terhadap A-3 diakibatkan turunnya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-3 menjadi 0.2 pada kasus B-3.

kasus C-3 yaitu pemasangan 3 buah DG dan 3 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.8, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.1, pembobotan keluaran DG sebesar 0.1, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 13.0974 kW. Rugi daya turun sebesar 93.54% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW dan turun sebesar 24.04% dari kasus A-3 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 3 DG dan 3 kapasitor. Selain itu, kerugian daya juga menurun sebesar 12.87% terhadap nilai rugi daya pada kasus B-3. Data tersebut menunjukkan naiknya pembobotan pada rugi daya berpengaruh pada turunnya nilai rugi daya pada sistem IEEE 33 bus. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.12489, nilai tersebut berada dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan mengalami penurunan sebesar 98.93% dari nilai indeks awal sistem. Namun hasil deviasi tegangan naik sebesar 1.47 kali terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus A-3 dan naik sebesar 1.43 kali terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus B-3. Naiknya deviasi tegangan pada kasus C-3 terhadap kasus B2 dan A-3 diakibatkan turunnya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-3 menjadi 0.2 pada kasus B-3 dan 0.1 pada kasus C3.

Pada Gambar 4.5 menunjukkan tegangan pada masing-masing bus. Gambar tersebut menunjukkan pada optimasi dengan pemasangan DG dan kapasitor mampu memperbaiki profil tegangan dibandingkan dengan profil tegangan pada sistem awal. Dari case A-3 sampai case C-3 profil tegangan telah memenuhi standar $\pm 5\%$ dari tegangan 12.66kV. Hasil plotting deviasi tegangan tiap bus dari kasus A-3 sampai C-3 ditunjukkan pada Gambar 4.6. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa seluruh kasus telah memenuhi *constraint* deviasi tegangan.



Gambar 4.5 Grafik Tegangan Bus *Case* Pembobotan Rugi Daya dengan 3 DG dan 3 Kapasitor



Gambar 4.6 Grafik Deviasi Tegangan Pembobotan Rugi Daya dengan 3 DG dan 3 Kapasitor

Pada kasus ini keluaran DG mengalami kondisi tidak optimal pada pembobotan rugi daya 0.8 dengan penempatan 1 DG dan 1 kapasitor. Secara keseluruhan kasus optimasi peletakan DG dan kapasitor dengan variasi pembobotan rugi daya menghasilkan berkurangnya rugi daya. Semakin naik pembobotan rugi daya, semakin kecil rugi daya dan naiknya deviasi tegangan.

4.4 Optimasi Peletakan DG dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial 33 Bus Menggunakan GA dengan Variasi Pembobotan Deviasi Tegangan

Pada kasus optimasi dengan variasi pembobotan deviasi tegangan, pembobotan difokuskan dengan melihat pengaruh perubahan pembobotan deviasi tegangan terhadap hasil aliran daya. Pada optimasi dengan variasi pembobotan ini terdapat 6 kasus yang akan dibandingkan dengan kasus pembobotan seimbang yang telah dibahas pada bab 4.2.

Kasus yang terdapat pada bab 4.4 ini terdiri dari:

1. Kasus D-1 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.2, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.6, pembobotan keluaran DG sebesar 0.2 dengan pemasangan 1 buah DG dan 1 buah kapasitor.
2. Kasus D-2 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.2, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.6, pembobotan keluaran DG sebesar 0.2 dengan pemasangan 2 buah DG dan 2 buah kapasitor.
3. Kasus D-3 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.6, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.2, pembobotan keluaran DG sebesar 0.6 dengan pemasangan 3 buah DG dan 3 buah kapasitor.
4. Kasus E-1 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.1, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.8, pembobotan keluaran DG sebesar 0.1 dengan pemasangan 1 buah DG dan 1 buah kapasitor.
5. Kasus E-2 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.1, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.8, pembobotan keluaran DG sebesar 0.1 dengan pemasangan 2 buah DG dan 2 buah kapasitor.
6. Kasus E-3 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.1, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.8,

pembobotan keluaran DG sebesar 0.1 dengan pemasangan 3 buah DG dan 3 buah kapasitor.

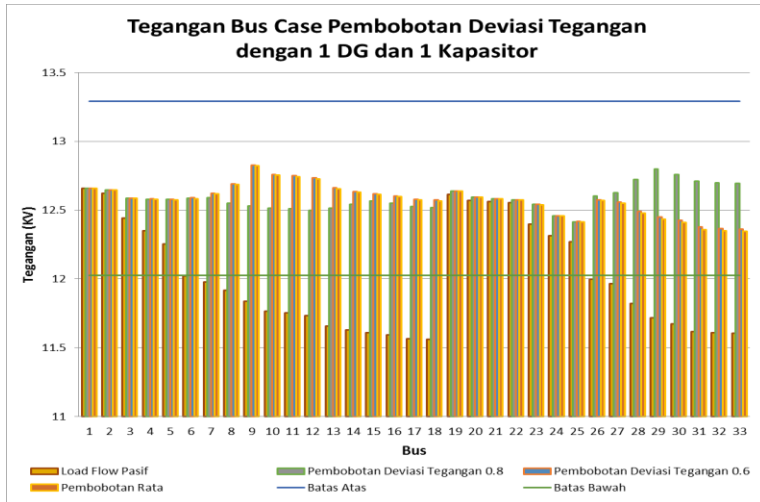
Hasil optimasi dengan variasi pembobotan rugi daya dapat dilihat pada tabel 4.5 dibawah ini:

Tabel 4.6 Hasil Rugi Daya, Deviasi Tegangan dan Keluaran DG Akibat Peletakan dan Penentuan Kapasitas DG dan Kapasitor dengan Variasi Pembobotan Deviasi Tegangan

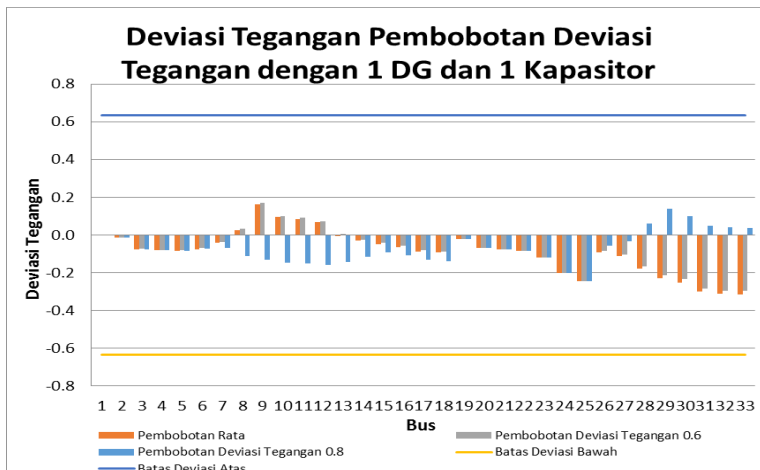
Bobot Deviasi Tegangan	Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
			Lokasi	P (MW)	Q (MVAR)	Lokasi	Q (MVAR)			
0.33	1	1	9	1.92	0.96	30	0.66	60.145	0.4272	1.92
0.6	1	1	9	1.92	0.84	30	0.96	60.483	0.39264	1.92
0.8	1	1	29	1.92	0.96	15	0.96	77.976	0.24775	1.92
0.33	2	2	10	0.96	0.48	31	0.18	30.440	0.09839	2.4
			29	1.44	0.72	25	0.54			
0.6	2	2	14	0.72	0.72	25	0.54	32.663	0.08458	2.4
			28	1.68	0.84	30	0.6			
0.8	2	2	10	1.08	0.54	19	0.78	33.494	0.05458	2.4
			29	1.32	0.66	24	0.72			
0.33	3	3	12	0.96	0.48	23	0.42	17.242	0.08486	2.4
			25	0.48	0.24	26	0.12			
			31	0.96	0.48	28	0.42			
0.6	3	3	14	0.72	0.36	12	0.18	17.475	0.07329	2.4
			24	0.84	0.42	28	0.42			
			31	0.84	0.42	31	0.36			
0.8	3	3	12	0.96	0.48	14	0.18	18.052	0.06611	2.4
			25	0.48	0.24	21	0.12			
			30	0.96	0.48	28	0.54			

Pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa pemasangan DG dan kapasitor pada sistem secara keseluruhan mampu mengurangi rugi daya dan deviasi tegangan. Kasus D-1 yaitu pemasangan 1 buah DG dan 1 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.2, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.6, pembobotan keluaran DG sebesar 0.2, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 60.483 kW. Rugi daya turun sebesar 70.16% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW. Sedangkan nilai tersebut naik sebesar 1.01 kali dari kasus A1 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 1 DG dan 1 Kapasitor. Hal ini terjadi akibat turunnya nilai pembobotan rugi daya yang awalnya 0.33 menjadi 0.2. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.39264, jauh dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan turun sebesar 96.65% dari nilai indeks awal sistem dan turun sebesar 8.09% terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus A-1. Turunnya deviasi tegangan pada kasus D1 terhadap A-1 diakibatkan naiknya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-1 menjadi 0.6 pada kasus D-1.

kasus E-1 yaitu pemasangan 1 buah DG dan 1 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.8, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.1, pembobotan keluaran DG sebesar 0.1, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 17.4753 kW. Rugi daya turun sebesar 61.53% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW dan naik sebesar 1.01 kali dari kasus A1 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 1 DG dan 1 Kapasitor. Selain itu, kerugian daya juga naik sebesar 1.3 kali terhadap nilai rugi daya pada kasus D-1. Data tersebut menunjukkan naiknya rugi daya akibat turunnya pembobotan pada rugi daya yang awalnya bernilai 0.33 pada kasus A-1 kemudian menjadi 0.2 pada kasus D-1 dan turun menjadi 0.1 pada kasus E-1. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.24775, nilai tersebut berada dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan mengalami penurunan sebesar 97.88% dari nilai indeks awal sistem. Namun hasil deviasi tegangan turun sebesar 42% terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus A-1 dan turun sebesar 35% terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus D-1. Turunnya deviasi tegangan pada kasus E-1 terhadap kasus D1 dan A-1 diakibatkan naiknya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-1 menjadi 0.6 pada kasus D-1 dan 0.8 pada kasus E1. Hasil plotting deviasi tegangan tiap bus dari kasus A-1,D-1, E-1 ditunjukkan pada Gambar 4.8. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa seluruh kasus telah memenuhi *constraint*.



Gambar 4.7 Grafik Tegangan Bus *Case* Pembobotan Deviasi Tegangan dengan 1 DG dan 1 Kapasitor



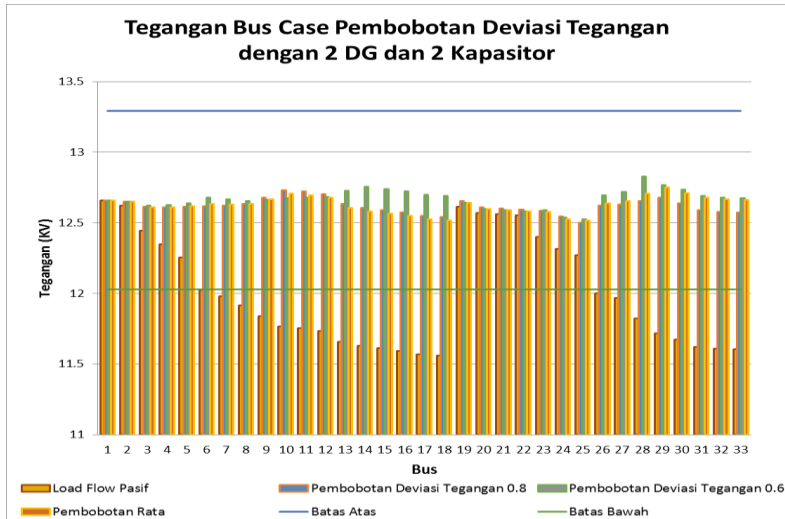
Gambar 4.8 Grafik Deviasi Tegangan *Case* Pembobotan Deviasi Tegangan dengan 1 DG dan 1 Kapasitor

Pada Gambar 4.7 menunjukkan tegangan pada masing-masing bus. Gambar tersebut menunjukkan pada optimasi mampu memperbaiki profil tegangan dibandingkan dengan profil tegangan pada sistem awal. Dari case A-1 D-1 dan E-1 profil tegangan telah memenuhi standar $\pm 5\%$ dari tegangan 12.66kV.

Kasus D-2 yaitu pemasangan 2 buah DG dan 2 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.2, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.6, pembobotan keluaran DG sebesar 0.2, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 32.6635 kW. Rugi daya turun sebesar 83.89% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW. Sedangkan nilai tersebut naik sebesar 1.07 kali dari kasus A2 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 2 DG dan 2 Kapasitor. Hal ini terjadi akibat turunnya nilai pembobotan rugi daya yang awalnya 0.33 menjadi 0.2. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.08458, jauh dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan turun sebesar 99.28% dari nilai indeks awal sistem dan turun sebesar 14% terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus A-2. Turunnya deviasi tegangan pada kasus D2 terhadap A-2 diakibatkan naiknya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-2 menjadi 0.6 pada kasus D-2.

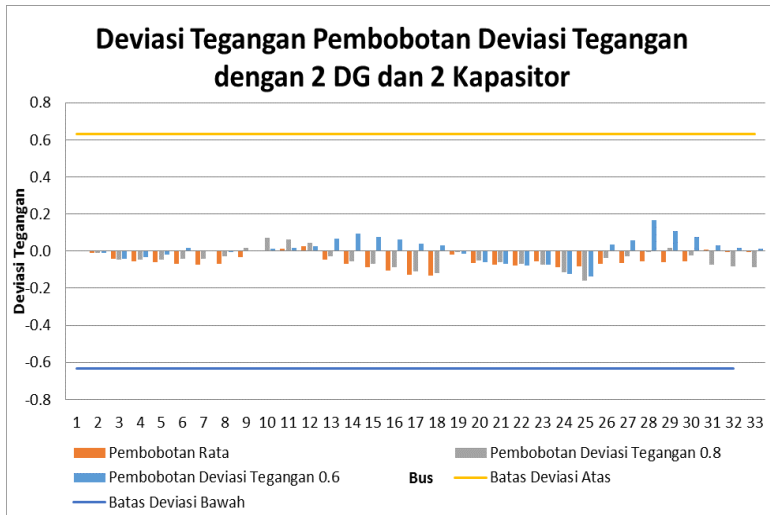
kasus E-2 yaitu pemasangan 2 buah DG dan 2 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.8, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.1, pembobotan keluaran DG sebesar 0.1, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 33.4947 kW. Rugi daya turun sebesar 83.48% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW dan naik sebesar 1.1 kali dari kasus A2 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 1 DG dan 1 Kapasitor. Selain itu, kerugian daya juga naik sebesar 1.025 kali terhadap nilai rugi daya pada kasus D-2. Data tersebut menunjukkan naiknya rugi daya akibat turunnya pembobotan pada rugi daya yang awalnya bernilai 0.33 pada kasus A-2 kemudian menjadi 0.2 pada kasus D-2 dan turun menjadi 0.1 pada kasus E-2. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.05458, nilai tersebut berada dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan mengalami penurunan sebesar 99.53% dari nilai indeks awal sistem. Namun hasil deviasi tegangan turun sebesar 44.5% terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus A-2 dan turun sebesar 35% terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus D-2. Turunnya deviasi tegangan pada kasus E-2 terhadap kasus D-2 dan A-2 diakibatkan naiknya nilai pembobotan

deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-1 menjadi 0.6 pada kasus D-2 dan 0.8 pada kasus E2.



Gambar 4.9 Grafik Tegangan Bus *Case* Pembobotan Deviasi Tegangan dengan 2 DG dan 2 Kapasitor

Pada Gambar 4.9 menunjukkan tegangan pada masing-masing bus. Gambar tersebut menunjukkan pada optimasi dengan pemasangan DG dan kapasitor mampu memperbaiki profil tegangan dibandingkan dengan profil tegangan pada sistem awal. Dari case A-2, D-2 dan E-2 profil tegangan telah memenuhi standar $\pm 5\%$ dari tegangan 12.66kV. Hasil plotting deviasi tegangan tiap bus dari kasus A-2 sampai C-2 ditunjukkan pada Gambar 4.10. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa seluruh kasus telah memenuhi *constraint* deviasi tegangan.

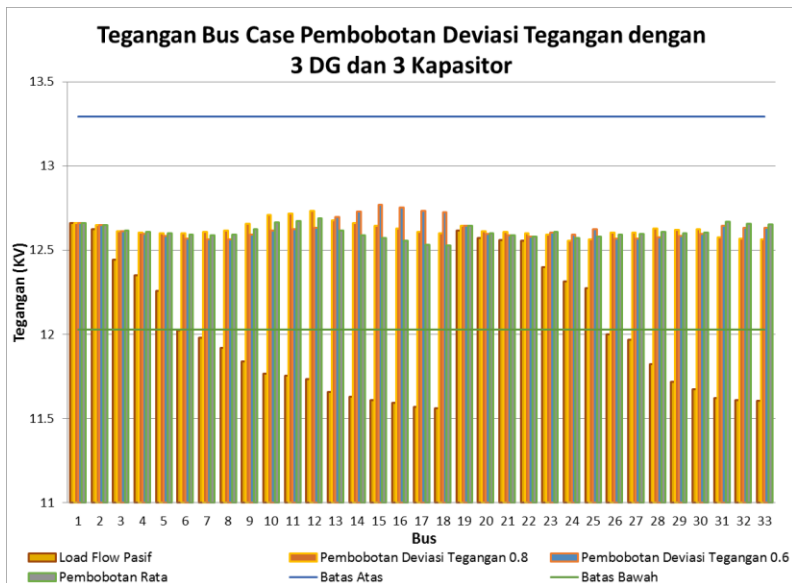


Gambar 4.10 Grafik Deviasi Tegangan *Case* Pembobotan Deviasi Tegangan dengan 2 DG dan 2 Kapasitor

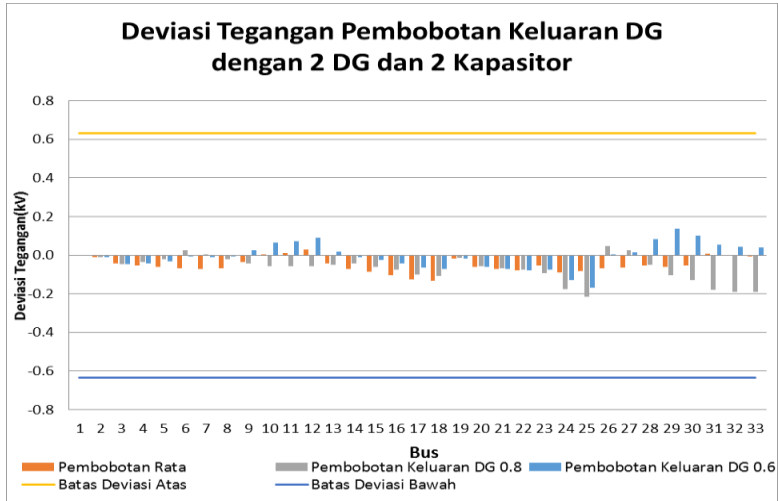
Kasus D-3 yaitu pemasangan 3 buah DG dan 3 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.2, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.6, pembobotan keluaran DG sebesar 0.2, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 17.4753 kW. Rugi daya turun sebesar 91.38% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW. Sedangkan nilai tersebut naik sebesar 1.01 kali dari kasus A3 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 3 DG dan 3 Kapasitor. Hal ini terjadi akibat turunnya nilai pembobotan rugi daya yang awalnya 0.33 menjadi 0.2. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.07329, jauh dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan turun sebesar 99.37% dari nilai indeks awal sistem dan turun sebesar 13.6% terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus A-3. Turunnya deviasi tegangan pada kasus D-3 terhadap A-3 diakibatkan naiknya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-3 menjadi 0.6 pada kasus D-3.

kasus E-3 yaitu pemasangan 3 buah DG dan 3 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.8, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.1, pembobotan keluaran DG sebesar 0.1, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 18.0522 kW. Rugi daya turun sebesar 91.094%

dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW dan naik sebesar 1.05 kali dari kasus A3 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 3 DG dan 3 Kapasitor. Selain itu, kerugian daya juga naik sebesar 1.033 kali terhadap nilai rugi daya pada kasus D-3. Data tersebut menunjukkan naiknya rugi daya akibat turunnya pembobotan pada rugi daya yang awalnya bernilai 0.33 pada kasus A-3 kemudian menjadi 0.2 pada kasus D-3 dan turun menjadi 0.1 pada kasus E-3. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.06611, nilai tersebut berada dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan mengalami penurunan sebesar 99.44% dari nilai indeks awal sistem. Namun hasil deviasi tegangan turun sebesar 22.1% terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus A-3 dan turun sebesar 9.8% terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus D-3. Turunnya deviasi tegangan pada kasus E-3 terhadap kasus D-3 dan A-3 diakibatkan naiknya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-3 menjadi 0.6 pada kasus D-3 dan 0.8 pada kasus E3.



Gambar 4.11 Grafik Tegangan Bus Case Pembobotan Deviasi Tegangan dengan 2 DG dan 2 Kapasitor



Gambar 4.12 Grafik Deviasi Tegangan Case Pembobotan Deviasi Tegangan dengan 3 DG dan 3 Kapasitor

Pada Gambar 4.11 menunjukkan tegangan pada masing-masing bus. Gambar tersebut menunjukkan pada optimasi dengan pemasangan DG dan kapasitor mampu memperbaiki profil tegangan dibandingkan dengan profil tegangan pada sistem awal. Dari case A-2, D-2 dan E-2 profil tegangan telah memenuhi standar $\pm 5\%$ dari tegangan 12.66kV. Hasil plotting deviasi tegangan tiap bus dari kasus A-2, D-2 dan E-2 ditunjukkan pada Gambar 4.12. Dari gambar tersebut juga menunjukkan bahwa seluruh kasus telah memenuhi *constraint* deviasi tegangan.

Dari keseluruhan kasus yang dibahas pada bab 4.4 ini menunjukkan keluaran DG yang optimal yaitu 2/3 dari pembebanan total 2.4MW. Selain itu, variasi pembobotan deviasi tegangan berpengaruh pada hasil rugi daya dan deviasi tegangan. Semakin besar pembobotan deviasi tegangan berpengaruh pada semakin kecilnya deviasi tegangan dan berbanding terbalik dengan rugi daya.

4.5 Optimasi Peletakan DG dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial 33 Bus Menggunakan GA dengan Variasi Pembobotan Keluaran DG

Pada kasus optimasi dengan variasi pembobotan keluaran DG, pembobotan difokuskan dengan melihat pengaruh perubahan pembobotan deviasi tegangan terhadap hasil aliran daya. Pada optimasi dengan variasi pembobotan ini terdapat 6 kasus yang akan dibandingkan dengan kasus pembobotan seimbang yang telah dibahas pada bab 4.2.

Kasus yang terdapat pada bab 4.5 ini terdiri dari:

1. Kasus F-1 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.2, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.2, pembobotan keluaran DG sebesar 0.6 dengan pemasangan 1 buah DG dan 1 buah kapasitor.
2. Kasus F-2 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.2, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.2, pembobotan keluaran DG sebesar 0.6 dengan pemasangan 2 buah DG dan 2 buah kapasitor.
3. Kasus F-3 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.2, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.2, pembobotan keluaran DG sebesar 0.6 dengan pemasangan 3 buah DG dan 3 buah kapasitor.
4. Kasus G-1 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.1, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.1, pembobotan keluaran DG sebesar 0.8 dengan pemasangan 1 buah DG dan 1 buah kapasitor.
5. Kasus G-2 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.1, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.1, pembobotan keluaran DG sebesar 0.8 dengan pemasangan 2 buah DG dan 2 buah kapasitor.
6. Kasus G-3 adalah kasus dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.1, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.1, pembobotan keluaran DG sebesar 0.8 dengan pemasangan 3 buah DG dan 3 buah kapasitor.

Hasil optimasi dengan variasi pembobotan rugi daya dapat dilihat pada tabel 4.5 dibawah ini:

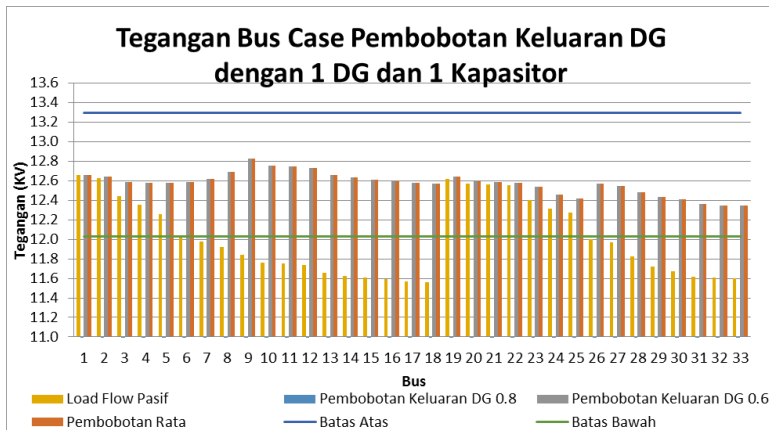
Tabel 4.7 Hasil Rugi Daya Akibat Peletakan dan Penentuan Kapasitas DG dan Kapasitor dengan Variasi Pembobotan Keluaran DG

Bobot Keluaran DG	Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
			Lokasi	P (MW)	Q (MVAR)	Lokasi	Q (MVAR)			
0.33	1	1	9	1.92	0.96	30	0.66	60.1456	0.4272	1.92
0.6	1	1	9	1.92	0.96	30	0.9	60.1486	0.4272	1.92
0.8	1	1	9	1.92	0.96	32	0.78	62.863	0.4295	1.92
0.33	2	2	10	0.96	0.48	31	0.18	30.4406	0.09839	2.4
			29	1.44	0.72	25	0.54			
0.6	2	2	12	0.84	0.42	24	0.54	31.7554	0.13318	2.4
			30	1.56	0.78	27	0.36			
0.8	2	2	14	0.48	0.24	19	0.3	32.9012	0.18042	2.4
			26	1.92	0.96	30	0.78			
0.33	3	3	12	0.96	0.48	23	0.42	17.2422	0.08486	2.4
			25	0.48	0.24	26	0.12			
			31	0.96	0.48	28	0.42			
0.6	3	3	12	0.72	0.36	3	0.54	17.5736	0.09045	2.4
			24	0.48	0.24	4	0.36			
			30	1.2	0.6	17	0.18			
0.8	3	3	12	0.84	0.42	4	0.66	22.1894	0.16984	2.4
			25	0.36	0.18	23	0.18			
			28	1.2	0.6	32	0.3			

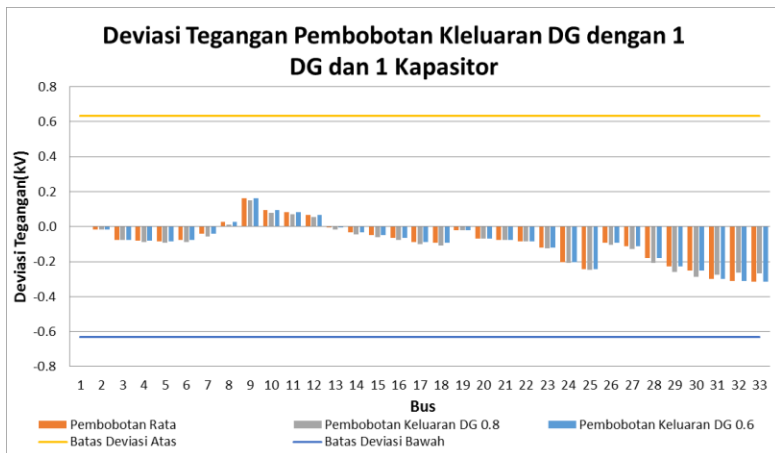
Pada Tabel 4.6 menunjukkan Hasil Rugi Daya Akibat Peletakan dan Penentuan Kapasitas DG dan Kapasitor dengan Variasi Pembobotan Keluaran DG. Kasus F-1 yaitu pemasangan 1 buah DG dan 1 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.2, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.2, pembobotan keluaran DG sebesar 0.6,

hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 60.1486 kW. Rugi daya turun sebesar 70.33% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW. Sedangkan nilai tersebut naik sebesar 1.00005 kali dari kasus A1 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 1 DG dan 1 Kapasitor. Hal ini terjadi akibat turunnya nilai pembobotan rugi daya yang awalnya 0.33 menjadi 0.2. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.4295, jauh dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan turun sebesar 96.35% dari nilai indeks awal sistem dan memiliki hasil indeks yang sama terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus A-1. Deviasi tegangan tidak terpengaruh pada kasus F1 terhadap A-1. Turunnya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-1 menjadi 0.2 pada kasus F-1 tidak berefek besar pada kasus ini.

Kasus G-1 yaitu pemasangan 1 buah DG dan 1 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.1, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.1, pembobotan keluaran DG sebesar 0.8, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 68.9871 kW. Rugi daya turun sebesar 68.987% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW dan naik sebesar 1.045 kali dari kasus A1 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 1 DG dan 1 Kapasitor dan juga pada kasus F-1. Data tersebut menunjukkan naiknya rugi daya akibat turunnya pembobotan pada rugi daya yang awalnya bernilai 0.33 pada kasus A-1 kemudian menjadi 0.2 pada kasus F-1 dan turun menjadi 0.1 pada kasus G-1. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.4295, nilai tersebut berada dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan mengalami penurunan sebesar 96.33% dari nilai indeks awal sistem. Namun hasil deviasi tegangan naik 1.01 bila dibandingkan dengan hasil deviasi tegangan pada kasus A-1 dan pada kasus F-1. Naiknya deviasi tegangan pada kasus G-1 terhadap kasus E-1 dan A-1 diakibatkan turunnya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-1 menjadi 0.2 pada kasus F-1 dan 0.1 pada kasus G1. Hasil plotting deviasi tegangan tiap bus dari kasus A-1, F-1, G-1 ditunjukkan pada Gambar 4.14. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa seluruh kasus telah memenuhi *constraint*. Pada Gambar 4.13 menunjukkan tegangan pada masing-masing bus. Gambar tersebut menunjukkan pada optimasi dengan pemasangan DG dan kapasitor mampu memperbaiki profil tegangan dibandingkan dengan profil tegangan pada sistem awal. Dari case A-1, F-1 dan G-1 profil tegangan telah memenuhi standar $\pm 5\%$ dari tegangan 12.66kV.



Gambar 4.13 Grafik Tegangan Bus *Case* Pembobotan Keluaran DG dengan 1 DG dan 1 Kapasitor



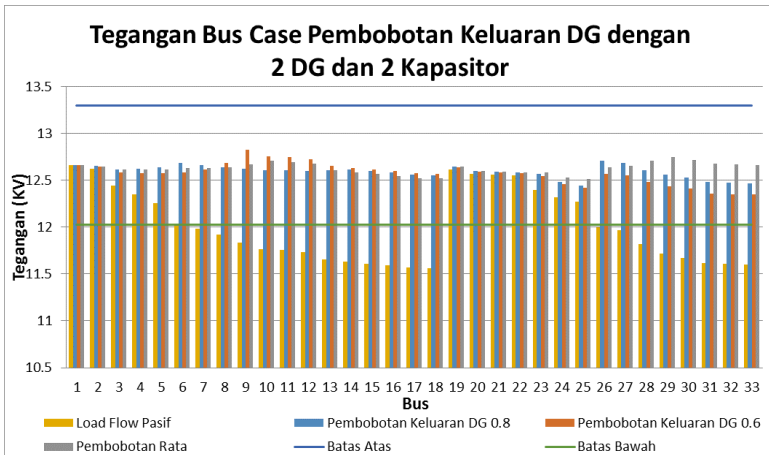
Gambar 4.14 Grafik Deviasi Tegangan *Case* Pembobotan Deviasi Tegangan dengan 1 DG dan 1 Kapasitor

Kasus F-2 yaitu pemasangan 2 buah DG dan 2 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.2, pembobotan deviasi tegangan

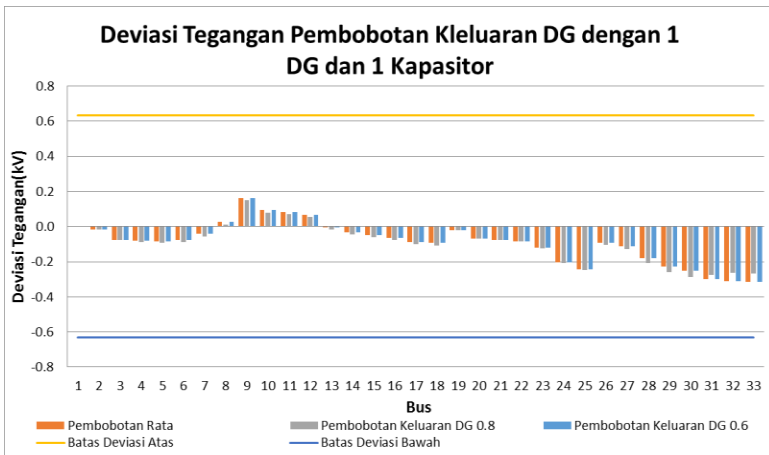
sebesar 0.2, pembobotan keluaran DG sebesar 0.6, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 31.7555 kW. Rugi daya turun sebesar 84.33% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW. Sedangkan nilai tersebut naik sebesar 1.0432 kali dari kasus A1 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 2 DG dan 2 Kapasitor. Hal ini terjadi akibat turunnya nilai pembobotan rugi daya yang awalnya 0.33 menjadi 0.2. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.1332, jauh dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan turun sebesar 98.86% dari nilai indeks awal sistem dan naik sebesar 1.35 kali terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus A-2. Deviasi tegangan naik diakibatkan turunnya pembobotan deviasi tegangan pada kasus F-2 terhadap A-2. Turunnya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-1 menjadi 0.2 pada kasus F-2.

Kasus G-2 yaitu pemasangan 2 buah DG dan 2 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.1, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.1, pembobotan keluaran DG sebesar 0.8, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 32.9012 kW. Rugi daya turun sebesar 83.777% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW dan naik sebesar 1.08 kali dari kasus A-2 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 2 DG dan 2 Kapasitor dan naik 1.0361 terhadap kasus F-2. Data tersebut menunjukkan naiknya rugi daya akibat turunnya pembobotan rugi daya yang awalnya bernilai 0.33 pada kasus A-1 kemudian menjadi 0.2 pada kasus F-2 dan turun menjadi 0.1 pada kasus G-2. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.1804, nilai tersebut berada dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan mengalami penurunan sebesar 98.46% dari nilai indeks awal sistem. Namun hasil deviasi tegangan naik 1.83 bila dibandingkan dengan hasil deviasi tegangan pada kasus A-2 dan naik sebesar 1.35 bila dibandingkan dengan kasus F-2. Naiknya deviasi tegangan pada kasus G-2 terhadap kasus F-2 dan A-2 diakibatkan turunnya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-2 menjadi 0.2 pada kasus F-2 dan 0.1 pada kasus G-2. Hasil plotting deviasi tegangan tiap bus dari kasus A-2, F-2, G-2 ditunjukkan pada Gambar 4.16. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa seluruh kasus telah memenuhi *constraint*. Pada Gambar 4.15 menunjukkan tegangan pada masing-masing bus. Gambar tersebut menunjukkan pada optimasi dengan pemasangan DG dan kapasitor mampu memperbaiki profil tegangan dibandingkan dengan profil tegangan pada sistem awal. Dari case A-2,

F-2 dan G-2 profil tegangan telah memenuhi standar $\pm 5\%$ dari tegangan 12.66kV.



Gambar 4.15 Grafik Tegangan Bus *Case* Pembobotan Keluaran DG dengan 2 DG dan 2Kapasitor

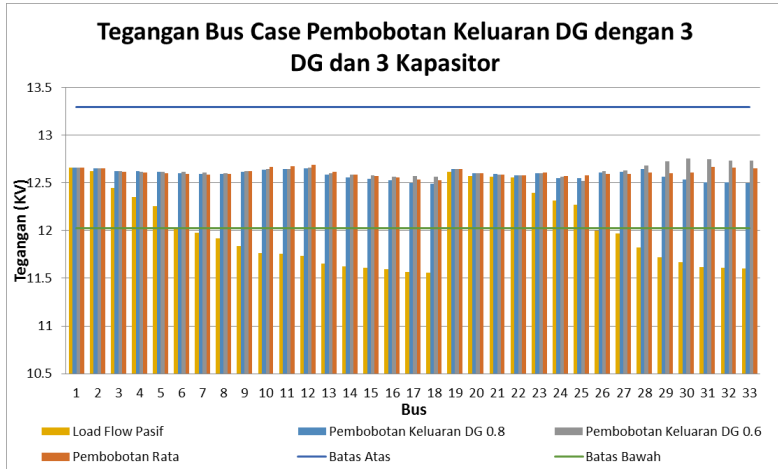


Gambar 4.16 Grafik Deviasi Tegangan *Case* Pembobotan Keluaran DG dengan 2 DG dan 2 Kapasitor

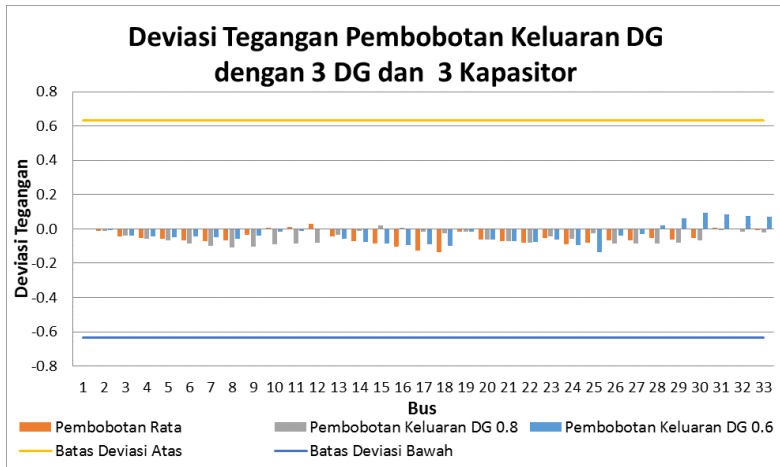
Kasus F-3 yaitu pemasangan 3 buah DG dan 3 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.2, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.2, pembobotan keluaran DG sebesar 0.6, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 17.5736 kW. Rugi daya turun sebesar 99.23% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW. Sedangkan nilai tersebut naik sebesar 1.01922 kali dari kasus A-3 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 3 DG dan 3 Kapasitor. Hal ini terjadi akibat turunnya nilai pembobotan rugi daya yang awalnya 0.33 menjadi 0.2. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.0904, jauh dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan turun sebesar 99.23% dari nilai indeks awal sistem dan naik sebesar 1.07 kali terhadap hasil deviasi tegangan pada kasus A-3. Deviasi tegangan naik diakibatkan turunnya pembobotan deviasi tegangan pada kasus F-3 terhadap A-3. Turunnya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-3 menjadi 0.2 pada kasus F-3.

Kasus G-3 yaitu pemasangan 3 buah DG dan 3 buah kapasitor dengan pembobotan rugi daya sebesar 0.1, pembobotan deviasi tegangan sebesar 0.1, pembobotan keluaran DG sebesar 0.8, hasil menunjukkan besar rugi daya adalah 22.1895 kW. Rugi daya turun sebesar 98.55% dari rugi daya awal sistem 202.7000397 kW dan naik sebesar 1.29 kali dari kasus A-3 yakni pembobotan seimbang dengan pemasangan 3 DG dan 3 Kapasitor dan naik 1.26 kali terhadap kasus F-3. Data tersebut menunjukkan naiknya rugi daya akibat turunnya pembobotan rugi daya yang awalnya bernilai 0.33 pada kasus A-3 kemudian menjadi 0.2 pada kasus F-3 dan turun menjadi 0.1 pada kasus G-3. Nilai deviasi sistem menunjukkan angka 0.1698, nilai tersebut berada dibawah nilai deviasi awal sebesar 11.712584. Dari data tersebut nilai deviasi tegangan mengalami penurunan sebesar 98.55% dari nilai indeks awal sistem. Namun hasil deviasi tegangan naik 2 kali bila dibandingkan dengan hasil deviasi tegangan pada kasus A-3 dan naik sebesar 1.88 kali bila dibandingkan dengan kasus F-3. Naiknya deviasi tegangan pada kasus G-3 terhadap kasus F-3 dan A-3 diakibatkan turunnya nilai pembobotan deviasi tegangan yang semula bernilai 0.33 pada kasus A-3 menjadi 0.2 pada kasus F-3 dan 0.1 pada kasus G-3. Hasil plotting deviasi tegangan tiap bus dari kasus A-3, F-3, G-3 ditunjukkan pada Gambar 4.18. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa seluruh kasus telah memenuhi *constraint*. Pada Gambar 4.17 menunjukkan tegangan pada masing-masing bus. Gambar tersebut menunjukkan pada optimasi dengan

pemasangan DG dan kapasitor mampu memperbaiki profil tegangan dibandingkan dengan profil tegangan pada sistem awal. Dari case A-3, F-3 dan G-3 profil tegangan telah memenuhi standar $\pm 5\%$ dari tegangan 12.66kV.



Gambar 4.17 Tegangan Bus *Case* Pembobotan Keluaran DG dengan 3 DG dan 3 Kapasitor



Gambar 4.18 Grafik Deviasi Tegangan *Case* Pembobotan Keluaran DG dengan 3 DG dan 3 Kapasitor

Dari kesuluhan kasus pada bab 4.5 ini dapat dilihat bahwa pembobotan keluaran DG menyebabkan keluaran DG tetap optimal sebesar $\frac{2}{3}$ dari total pembebanan sebesar 2.4 MW. Pada kondisi pembobotan keluaran DG yang semakin tinggi menyebabkan nilai rugi daya yang semakin besar dan deviasi yang semakin besar bila dibandingkan pada kondisi pemasangan DG dan kapasitor dalam jumlah yang sama.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan analisa, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Optimasi menggunakan GA dengan pembobotan yang dititik beratkan pada pembobotan rugi daya 0,8, pembobotan deviasi tegangan 0.1, dan pembobotan keluaran daya aktif DG 0.1 pada sistem IEEE 33 bus dapat menurunkan rugi daya 93.54%, menurunkan deviasi tegangan 98.93%, dan mengoptimasi keluaran daya aktif DG 2.4MW
2. Optimasi menggunakan GA dengan pembobotan yang dititik beratkan pada pembobotan deviasi tegangan 0,8, pembobotan rugi daya 0.1, pembobotan keluaran daya aktif DG 0.1 pada sistem IEEE 33 bus dapat dapat menurunkan rugi daya 91.094%, menurunkan deviasi tegangan 99.44%, dan mengoptimasi keluaran daya aktif DG 2.4MW
3. Optimasi menggunakan GA dengan pembobotan yang dititik beratkan pada pembobotan keluaran DG 0.8 pembobotan rugi daya 0,8, pembobotan deviasi tegangan 0.1 pada sistem IEEE 33 bus dapat dapat menurunkan rugi daya 93.54%, menurunkan deviasi tegangan 99.44% dan mengoptimasi keluaran daya aktif DG 2.4MW
4. Dalam semua kasus untuk menginjeksi DG dan kapasitor dengan nilai pembobotan fungsi objektif yang berbeda-beda didapatkan lokasi dan ukuran DG dan kapasitor yang berbeda.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir kedepan adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya pengembangan program agar bisa digunakan untuk jaringan tiga fasa tidak seimbang.
2. Menggunakan fungsi objektif biaya sebagai pertimbangan biaya investasi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Kadir, *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Jakarta: UI Press, 2006.
- [2] J. HAOTENG, "A Network-Topology-based Three-Phase Load Flow for Distribution Systems," in *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A)*, Taiwan, 1999.
- [3] N. Singh, *Optimal Sizing and Placement of DG in a Radial Distribution Network using Sensitivity based Methods*, PATIALA: PUNJAB, 2014.
- [4] T. Ackermann, G. Andersson and L. Soder, "Distributed generation: a definition," *Electric Power Systems Research*, vol. 57, no. 05 December 2000, pp. 195-204, 2001.
- [5] N. I. J. A. Sa'ed, M. G. S. Favuzza and F. M. Ippolito, "Effect of Voltage Deviations on Power Distribution Losses in Presence of DG Technology," in *4th International Conference on Renewable Energy Research an Application*, Italy, 2015.
- [6] F. H. Lee Willis, "ANALYTICAL METHODS AND RULES OF THUMB FOR MODELING DG-DISTRIBUTION INTERACTION," *IEEE*, no. ABB Power T&D Company Inc., 2000.
- [7] "DESAIN KAPASITAS DISTRIBUTED GENERATION PADASISTEM DISTRIBUSIRADIAL GUNA MENGURANGI RUGI DAYA DAN RUGI TEGANGAN," *JAVA Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 1, p. 1, 2013.
- [8] "Novel analytical method for the placement and sizing of distributed generation unit on distribution networks with and without considering PandPQVbuses," *ELSEVIER*, vol. Electrical Power and Energy Systems 78, pp. 401-413, 2016.
- [9] A. Elsheikh, Y. Helmy, Y. Abouelseoud and A. Elsherif, "Optimal capacitor placement and sizing in radial," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 53, no. 18 September 2014, pp. 809-816, 2014.
- [10] S. Kusuma, *Artificial Intelligence*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.

- [11] W. Sheng, K.-y. Liu and S. Cheng, "Optimal power flow algorithm and analysis in distribution system considering distributed generation," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 8, no. 2, p. 261–272, 2013.
- [12] M. S. Syed and S. K. Injeti, "Simultaneous Optimal Placement of DGs and Fixed Capacitor Banks in Radial Distribution Systems using BSA Optimization," *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887), vol. 108, 2014.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap **Adinda Soraya Ayu Wardhany**, biasa dipanggil Dinda. Lahir di Kota Gresik – Jawa Timur pada tanggal 3 Juli tahun 1992. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Muhammadiyah GKB kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Muhammadiyah 12 GKB dan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Gresik. Pada tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Diploma 3 di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-ITS. program studi Teknik Elektro Industri. Pada tahun

2013 penulis menyelesaikan pendidikan Diploma 3. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya tahun 2015 dengan program studi Teknik Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro.

email : adinda.soraya.aw@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

1. Kasus dengan Variasi Pembobotan Rugi Daya
- a. Kasus dengan Pembobotan Rugi Daya=0.8;Pembobotan Deviasi Tegangan =0.1; Pembobotan Keluaran Daya Aktif DG=0.1

Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
		Lokasi	P (MW)	Q (MVAR)	Lokasi	Q (MVAR)			
1	1	26	1.8	0.9	30	0.9	54,0688	1,33382	1.8
1	2	7	1.92	0.96	25	0.36	48,2134	1,089594	1.92
		-	-	-	30	0.84			
1	3	7	1.92	0.96	31	0.6	48,7210	0.727050	1.92
		-	-	-	15	0.3			
		-	-	-	24	0.42			
2	1	30	1.2	0.6	30	0.48	29,0611	0.135053	2.16
		12	0.96	0.48	-	-			
2	2	15	0.84	0.42	24	0.48	25,9316	0,10513	1.8
		12	0.96	0.48	30	0.54			
2	3	12	0.96	0.48	6	0.24	25,5284	0.087097	2.16
		30	1.2	0.6	31	0.3			
		-	-	-	25	0.42			
3	1	31	0.84	0.42	30	0.72	15,1451	0.077044	2.4
		25	0.72	0.36	-	-			
		14	0.84	0.42	-	-			
3	2	25	0.6	0.3	23	0.42	16,3673	0.161653	2.4
		31	0.72	0.36	30	0.48			
		10	1.08	0.56	-	-			
3	3	15	0.72	0.36	24	0.3	13,0974	0,08722	2.4
		14	0.72	0.36	7	0.12			
		30	0.96	0.48	30	0.48			

- b. Kasus dengan Pembobotan Rugi Daya=0.6;Pembobotan Deviasi Tegangan =0.2; Pembobotan Keluaran Daya Aktif DG=0.2

Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
		Loka-si	P (MW)	Q (MVAR)	Loka-si	Q (MVAR)			
1	1	27	1.92	0.96	30	0.9	54,5582	0,4272	1.92
1	2	7	1.92	0.96	14	0.36	50,3710	0.626140	1.92
		-	-	-	30	0.78			
1	3	7	1.92	0.96	25	0.42	51,0264	0.677197	1.92
		-	-	-	31	0.48			
		-	-	-	15	0.42			
2	1	29	1.44	0.72	30	0.36	31,9673	0.115735	2.4
		12	0.96	0.48	-	-			
2	2	16	1.08	0.54	31	0.3	28,4379	0,10513	2.4
		30	1.32	0.66	24	0.54			
2	3	12	0.96	0.48	21	0.18	26,6426	0.093743	2.16
		30	1.2	0.6	24	0.42			
		-	-	-	30	0.54			
3	1	25	0.72	0.36	30	0.6	13,6257	0.144052	2.4
		14	0.72	0.36	-	-			
		30	0.96	0.48	-	-			
3	2	25	0.6	0.3	23	0.72	16,0107	0.112627	2.4
		15	0.72	0.36	30	0.42			
		29	1.08	0.54	-	-			
3	3	25	0.6	0.3	27	0.12	15,0316	0,08486	2.4
		31	0.84	0.42	23	0.42			
		12	0.96	0.48	30	0.54			

- c. Kasus dengan Pembobotan Rugi Daya=0.33;Pembobotan Deviasi Tegangan =0.33; Pembobotan Keluaran Daya Aktif DG=0.34

Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
		Loka-si	P (MW)	Q (MVAR)	Loka-si	Q (MVAR)			
1	1	9	1,92	0,96	30	0.66	60,148	1,64804	1.92
1	2	7	1.92	0.96	30	0.9	51,8018	0.511398	1.92
		-	-	-	15	0.36			
1	3	7	1.92	0.96	15	0.42	50,4858	0.661144	1.92
		-	-	-	30	0.54			
		-	-	-	24	0.48			
2	1	28	1.44	0.72	30	0.54	32,9632	0.104477	2.4
		12	0.96	0.48	-	-			
2	2	10	0.96	0.48	31	0.18	30,4406	0,11	2.4
		29	1.44	0.72	25	0.54			
2	3	31	0.84	0.42	30	0.3	30,3053	0.258146	2.4
		7	1.56	0.78	25	0.36			
		-	-	-	14	0.3			
3	1	25	0.72	0.36	30	0.66	14,6237	0.113050	2.4
		15	0.72	0.36	-	-			
		30	0.96	0.48	-	-			
3	2	25	0.48	0.24	24	0.54	16,4298	0.081458	2.4
		30	0.96	0.48	31	0.48			
		12	0.96	0.48	-	-			
3	3	12	0.96	0.48	23	0.42	17,24219	0,12489	2.4
		25	0.48	0.24	26	0.12			
		31	0.96	0.48	28	0.42			

- d. Kasus dengan Pembobotan Rugi Daya=0.2;Pembobotan Deviasi Tegangan =0.4; Pembobotan Keluaran Daya Aktif DG=0.4

Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
		Loka-si	P (MW)	Q (MVAR)	Loka-si	Q (MVAR)			
1	1	9	1.92	0.96	30	0.9	18,9571	0.073449	1.92
1	2	9	1.92	0.96	24	0.54	16,0461	0.083213	1.92
		-	-	-	30	0.96			
1	3	7	1.92	0.96	31	0.48	18,3317	0.097801	1.92
		-	-	-	30	0.36			
		-	-	-	14	0.6			
2	1	28	1.44	0.72	30	0.66	32,4550	0.101190	2.4
		12	0.96	0.48	-	-			
2	2	10	1.2	0.6	31	0.24	28,5918	0.132586	2.4
		30	1.2	0.6	24	0.48			
2	3	15	0.72	0.36	31	0.18	33,6675	0.108625	2.4
		29	1.68	0.84	23	0.54			
		-	-	-	24	0.36			
3	1	31	0.72	0.36	30	0.9	58,4287	0.309732	2.4
		12	0.72	0.36	-	-			
		12	0.96	0.48	-	-			
3	2	25	0.84	0.42	26	0.18	59,0611	0.333340	2.4
		32	0.72	0.36	30	0.72			
		15	0.6	0.3	-	-			
3	3	7	1.08	0.54	30	0.06	60,1486	0.392635	2.4
		30	0.72	0.36	31	0.54			
		15	0.6	0.3	24	0.54			

2. Kasus dengan Variasi Pembobotan Deviasi Tegangan
- a. Kasus dengan Pembobotan Rugi Daya=0.1;Pembobotan Deviasi Tegangan =0.8; Pembobotan Keluaran Daya Aktif DG=0.1

Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
		Loka-si	P (MW)	Q (MVAR)	Loka-si	Q (MVAR)			
1	1	29	1.92	0.96	15	0.96	77,9760	0,39264	1.92
1	2	9	1.92	0.96	32	0.6	68,3456	0.211115	1.92
		-	-	-	30	0.72			
1	3	28	1.92	0.96	32	0.3	74,3831	0.158064	1.92
		-	-	-	17	0.48			
		-	-	-	10	0.6			
2	1	30	1.44	0.72	24	0.66	31,3986	0.081979	2.4
		12	0.96	0.48	-	-			
2	2	10	1.08	0.54	24	0.72	33,4947	0,08458	2.4
		29	1.32	0.66	19	0.78			
2	3	12	0.96	0.48	4	0.66	30,4291	0.090748	2.4
		30	1.44	0.72	24	0.54			
		-	-	-	28	0.18			
3	1	25	0.6	0.3	28	0.9	17,5971	0.057705	2.4
		14	0.84	0.42	-	-			
		30	0.96	0.48	-	-			
3	2	25	0.72	0.36	30	0.84	20,7332	0.052095	2.4
		31	0.84	0.42	25	0.48			
		14	0.84	0.42	-	-			
3	3	12	0.96	0.48	21	0.12	18,0522	0,07329	2.4
		30	0.96	0.48	28	0.54			
		25	0.48	0.24	14	0.18			

- b. Kasus dengan Pembobotan Rugi Daya=0.2;Pembobotan Deviasi Tegangan =0.6; Pembobotan Keluaran Daya Aktif DG=0.2

Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
		Loka-si	P (MW)	Q (MVAR)	Loka-si	Q (MVAR)			
1	1	9	1.92	0.96	30	0.96	60,4831	0,24775	1.92
1	2	9	1.92	0.96	30	0.96	73,7092	0.208862	1.92
		-	-	-	25	0.54			
1	3	28	1.92	0.96	31	0.36	66,1203	0.258122	1.92
		-	-	-	17	0.36			
		-	-	-	10	0.54			
2	1	30	0.96	0.48	30	0.48	32,7369	0.124973	2.4
		9	1.44	0.72	-	-			
2	2	14	0.72	0.36	25	0.54	32,6635	0,05458	2.4
		28	1.68	0.84	30	0.6			
2	3	12	0.96	0.48	9	0.06	30,1150	0.097595	2.4
		30	1.44	0.72	25	0.42			
		-	-	-	6	0.48			
3	1	25	0.48	0.24	30	0.78	18,2237	0.780000	2.4
		12	0.96	0.48	-	-			
		30	0.96	0.48	-	-			
3	2	31	0.84	0.42	24	0.18	16,8360	0.081609	2.4
		25	0.48	0.24	30	0.48			
		12	1.08	0.54	-	-			
3	3	14	0.72	0.36	12	0.18	17,4753	0,066611	2.4
		24	0.84	0.42	28	0.42			
		31	0.84	0.42	31	0.36			

- c. Kasus dengan Pembobotan Rugi Daya=0.33;Pembobotan Deviasi Tegangan =0.33; Pembobotan Keluaran Daya Aktif DG=0.34

Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
		Loka-si	P (MW)	Q (MVAR)	Loka-si	Q (MVAR)			
1	1	9	1,92	0,96	30	0.66	60,148	1,64804	1.92
1	2	7	1.92	0.96	30	0.9	51,8018	0.511398	1.92
		-	-	-	15	0.36			
1	3	7	1.92	0.96	15	0.42	50,4858	0.661144	1.92
		-	-	-	30	0.54			
		-	-	-	24	0.48			
2	1	28	1.44	0.72	30	0.54	32,9632	0.104477	2.4
		12	0.96	0.48	-	-			
2	2	10	0.96	0.48	31	0.18	30,4406	0,11	2.4
		29	1.44	0.72	25	0.54			
2	3	31	0.84	0.42	30	0.3	30,3053	0.258146	2.4
		7	1.56	0.78	25	0.36			
		-	-	-	14	0.3			
3	1	25	0.72	0.36	30	0.66	14,6237	0.113050	2.4
		15	0.72	0.36	-	-			
		30	0.96	0.48	-	-			
3	2	25	0.48	0.24	24	0.54	16,4298	0.081458	2.4
		30	0.96	0.48	31	0.48			
		12	0.96	0.48	-	-			
3	3	12	0.96	0.48	23	0.42	17,24219	0,12489	2.4
		25	0.48	0.24	26	0.12			
		31	0.96	0.48	28	0.42			

- d. Kasus dengan Pembobotan Rugi Daya=0.4;Pembobotan Deviasi Tegangan =0.2; Pembobotan Keluaran Daya Aktif DG=0.4

Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
		Loka-si	P (MW)	Q (MVAR)	Loka-si	Q (MVAR)			
1	1	9	1,92	0,96	30	0.84	60,0478	1,63512	1.92
1	2	7	1,92	0,96	30	0.84	49,9987	0.637450	1.92
		-	-	-	15	0.3			
1	3	7	1,92	0,96	16	0.36	51,1469	0.520535	1.92
		-	-	-	30	0.6			
		-	-	-	32	0.24			
2	1	30	1.2	0.6	30	0.54	32,2476	0.088692	2.4
		10	1.2	0.6	-	-			
2	2	12	1.08	0.54	25	0.48	29,5184	0.150258	2.4
		30	1.32	0.66	27	0.36			
2	3	12	0.96	0.48	24	0.3	29,5573	0.098544	2.4
		23	1.44	0.72	31	0.3			
		-	-	-	21	0.3			
3	1	14	0.72	0.36	30	0.72	15,8515	0.111386	2.4
		24	0.72	0.36	-	-			
		31	0.96	0.48	-	-			
3	2	25	0.6	0.3	4	0.6	15,1532	0.103208	2.4
		31	0.84	0.42	30	0.48			
		12	0.96	0.48	-	-			
3	3	25	0.6	0.3	23	0.42	15,3748	0,066611	2.4
		30	0.84	0.42	7	0.36			
		12	0.96	0.48	30	0.36			

3. Kasus dengan Variasi Pembobotan Keluaran Daya Aktif DG
- a. Kasus dengan Pembobotan Rugi Daya=0.1;Pembobotan Deviasi Tegangan =0.1; Pembobotan Keluaran Daya Aktif DG=0.8

Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
		Loka-si	P (MW)	Q (MVAR)	Loka-si	Q (MVAR)			
1	1	9	1,92	0,96	32	0.78	62,8630	0,4272	1.92
1	2	26	1,92	0,96	30	0.72	53,7986	0.636417	1.92
		-	-	-	15	0.48			
1	3	7	1,92	0,96	25	0.24	53,3878	0.433025	1.92
		-	-	-	30	0.72			
		-	-	-	14	0.54			
2	1	10	0.96	0.48	26	0.6	33,8386	0.114265	2.4
		29	1.44	0.72	-	-			
2	2	14	0.48	0.24	30	0.78	32,9012	0,13318	2.4
		26	1.92	0.96	19	0.3			
2	3	30	1.08	0.54	30	0.42	48,9575	0.319690	2.4
		9	1.32	0.66	26	0.42			
		-	-	-	30	0.54			
3	1	25	0.6	0.3	26	0.9	17,3274	0.098428	2.4
		14	0.84	0.42	-	-			
		30	0.96	0.48	-	-			
3	2	30	0.84	0.42	25	0.24	15,8114	0.129639	2.4
		24	0.6	0.3	30	0.6			
		12	0.96	0.48	-	-			
3	3	12	0.84	0.42	4	0.66	22,1895	0,09045	2.4
		25	0.36	0.18	23	0.18			
		28	1.2	0.6	32	0.3			

- b. Kasus dengan Pembobotan Rugi Daya=0.2;Pembobotan Deviasi Tegangan =0.2; Pembobotan Keluaran Daya Aktif DG=0.6

Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
		Loka-si	P (MW)	Q (MVAR)	Loka-si	Q (MVAR)			
1	1	9	1,92	0,96	30	0.9	60,1486	0,4295	1.92
1	2	7	1,92	0,96	15	0.54	55,8792	0.413177	1.92
		-	-	-	30	0.78			
1	3	27	1,92	0,96	14	0.48	53,6265	0.536282	1.92
		-	-	-	25	0.3			
		-	-	-	31	0.66			
2	1	30	1.44	0.74	23	0.78	31,9535	0.092580	2.4
		12	0.96	0.48	-	-			
2	2	30	1.56	0.78	24	0.54	31,7555	0,18042	2.4
		12	0.84	0.42	27	0.36			
2	3	30	0.84	0.42	30	0.42	32,6827	0.158495	2.4
		7	1.56	0.78	25	0.24			
		-	-	-	14	0.42			
3	1	31	0.72	0.36	30	0.72	15,6056	0.138969	2.4
		25	0.72	0.36	-	-			
		12	0.96	0.48	-	-			
3	2	30	0.96	0.48	31	0.42	15,9804	0.212957	2.4
		24	0.84	0.42	30	0.36			
		14	0.6	0.3	-	-			
3	3	12	0.72	0.36	3	0.54	17,5736	0,16984	2.4
		24	0.48	0.24	4	0.36			
		30	1.2	0.6	17	0.18			

- c. Kasus dengan Pembobotan Rugi Daya=0.33;Pembobotan Deviasi Tegangan =0.33; Pembobotan Keluaran Daya Aktif DG=0.34

Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
		Loka-si	P (MW)	Q (MVAR)	Loka-si	Q (MVAR)			
1	1	9	1,92	0,96	30	0.66	60,148	1,64804	1.92
1	2	7	1.92	0.96	30	0.9	51,8018	0.511398	1.92
		-	-	-	15	0.36			
1	3	7	1.92	0.96	15	0.42	50,4858	0.661144	1.92
		-	-	-	30	0.54			
		-	-	-	24	0.48			
2	1	28	1.44	0.72	30	0.54	32,9632	0.104477	2.4
		12	0.96	0.48	-	-			
2	2	10	0.96	0.48	31	0.18	30,4406	0,11	2.4
		29	1.44	0.72	25	0.54			
2	3	31	0.84	0.42	30	0.3	30,3053	0.258146	2.4
		7	1.56	0.78	25	0.36			
		-	-	-	14	0.3			
3	1	25	0.72	0.36	30	0.66	14,6237	0.113050	2.4
		15	0.72	0.36	-	-			
		30	0.96	0.48	-	-			
3	2	25	0.48	0.24	24	0.54	16,4298	0.081458	2.4
		30	0.96	0.48	31	0.48			
		12	0.96	0.48	-	-			
3	3	12	0.96	0.48	23	0.42	17,24219	0,12489	2.4
		25	0.48	0.24	26	0.12			
		31	0.96	0.48	28	0.42			

- d. Kasus dengan Pembobotan Rugi Daya=0.4;Pembobotan Deviasi Tegangan =0.4; Pembobotan Keluaran Daya Aktif DG=0.2

Jumlah DG	Jumlah Kapasitor	DG			Kapasitor		Rugi Daya (KW)	Deviasi Tegangan	Keluaran DG (MW)
		Loka-si	P (MW)	Q (MVAR)	Loka-si	Q (MVAR)			
1	1	29	1,92	0,96	14	0.66	63,6939	0.567292	1.92
1	2	7	1,92	0,96	12	0.36	52,6729	0.580888	1.92
		-	-	-	30	0.36			
1	3	7	1,92	0,96	30	0.48	58,8825	0.277025	1.92
		-	-	-	33	0.48			
		-	-	-	14	0.54			
2	1	30	1.32	0.66	24	0.6	31,3008	0.073865	2.4
		12	1.08	0.54	-	-			
2	2	30	0.96	0.48	25	0.48	30,3942	0.100039	2.4
		9	1.44	0.72	30	0.42			
2	3	15	0.6	0.3	30	0.6	30,1702	0.156269	2.4
		26	1..8	0.9	25	0.42			
		-	-	-	31	0.06			
3	1	25	0.72	0.36	30	0.66	13,9137	0.123642	2.4
		14	0.72	0.36	-	-			
		30	0.96	0.48	-	-			
3	2	24	0.84	0.42	26	0.54	19,0746	0.144310	2.4
		32	0.6	0.3	30	0.48			
		14	0.96	0.48	-	-			
3	3	29	1.2	0.6	24	0.48	16,5462	0.081124	2.4
		25	0.48	0.24	6	0.06			
		15	0.72	0.36	30	0.48			